

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**



**“APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA VISUAL DE
ESTRUCTURAS ANTE FENÓMENOS NATURALES, PARA
CUATRO PUENTES QUE ATRAVIESAN EL RÍO SANTA CLARA,
CANTÓN RUMIÑAHUI, PROVINCIA DE PICHINCHA”**

KEVIN MARTIN NÚÑEZ NARANJO

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2016

DEDICATORIA

A mis padres, Edwin Núñez y Mirian Naranjo, quienes me brindan su apoyo incondicional diariamente añorando mi enriquecimiento personal.

A mis abuelitos, Rosa Arcos y Marco Naranjo, con un sin número de virtudes que destacan como ejemplo de perseverancia y honorabilidad.

KEVIN MARTIN NÚÑEZ NARANJO

AGRADECIMIENTO

A mis padres que confiaron en mi proyecto de estudio, quienes hicieron posible alcanzar varias de mis metas entre ellas la elaboración de mi trabajo de disertación.

A mis amigos, Topitos F.C, también a los correctores de mi trabajo de disertación Ing. Oscar Jaramillo e Ing. Jorge Buchelli.

Al director de tesis, Ing. Wilson Cando, más que un profesor un amigo quien me supo brindar una diferente visión de la Ingeniería Civil y a su vez me supo transmitir sus conocimientos que me fueron de mucha utilidad para la ejecución de mi trabajo de disertación.

A la PUCE , a la facultad de Ingeniería Civil, a todos y cada uno de mis profesores.

CARTA DEL DIRECTOR

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
CARTA DEL DIRECTOR	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I.	12
1. Generalidades	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Planteamiento Del Problema	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo General	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 Alcance	15
CAPÍTULO II.	20
2. Aspectos Generales	20
2.1 Marco Teórico	20
2.1.1 Desastre	20
2.1.2 Riesgo	21
2.1.3 Amenaza	21
2.1.4 Vulnerabilidad	22
2.1.5 Elementos Expuestos	22
2.2 Conceptos Generales De Puentes	22
2.2.1 Definición	22
2.2.2 Clasificación	23
2.2.2.1 De acuerdo a su función primordial que realizan	23
2.2.2.2 Según el tipo de tablero anclado	23
2.2.2.3 De acuerdo el material empleado en la construcción	23
2.2.2.4 Según su modelo estructural	24
2.2.2.5 De acuerdo a su tipología estructural	24

2.2.3	Elementos Que Los Constituyen -----	25
2.2.3.1	Superestructura.-----	25
2.2.3.2	Subestructura.-----	26
2.3	Conceptos Generales De Fenómenos Naturales -----	27
2.3.1	Definición De Erupción Volcánica-----	27
2.3.2	Definición De Fenómenos Sísmicos-----	28
2.4	Metodología De Evaluación De Vulnerabilidad.-----	30
2.4.1	Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas. -----	30
2.4.2	Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos. -----	33
CAPÍTULO III.	-----	37
3.	Área Donde Se Encuentran Los Puentes -----	37
3.1	Área De Estudio -----	37
3.1.1	Delimitación Del Área De Estudio-----	39
3.1.2	Río Santa Clara-----	41
3.1.2.1	Hidrología-----	42
3.1.2.2	Socavación -----	46
3.1.3	Geología-----	58
3.1.4	Suelos -----	60
3.1.5	Zona Sísmica -----	62
3.2	Amenazas En El Área De Estudio -----	64
3.2.1	Amenazas Volcánicas En El Área De Estudio -----	64
3.2.1.1	Volcán Ilaló -----	65
3.2.1.2	Volcán Pasochoa-----	67
3.2.1.3	Volcán Antisana -----	68
3.2.1.4	Amenaza Del Volcán Cotopaxi -----	69
3.1.2	Amenazas Sísmicas En El Área De Estudio. -----	71
CAPÍTULO IV.	-----	75
4.	APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA VISUAL -----	75
4.1.1	Puente De Hormigón Armado “El Aguacate”, Calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. 76	
4.1.2	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas. -----	77
4.1.2.1	Análisis De La Ficha De Evaluación.-----	77
4.1.3	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos. -----	82
4.1.3.1	Análisis De La Ficha De Evaluación.-----	83

4.2.1	Puente De Madera, Vía Hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas. -----	84
4.2.2	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas. -----	85
4.2.2.1	Análisis De La Ficha De Evaluación-----	85
4.2.3	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos. -----	90
4.2.3.1	Análisis De La Ficha De Evaluación-----	91
4.3.1	Puente De Hormigón Postensado “Enkador”, Vía Hacia el Barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas.-----	92
4.3.2	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas. -----	93
4.3.2.1	Análisis De La Ficha De Evaluación-----	93
4.3.3	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos. -----	98
4.3.3.1	Análisis De La Ficha De Evaluación-----	99
4.4.1	Puente En Forma de Arco De Mampostería, Calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas. 100	
4.4.2	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas. -----	101
4.4.2.1	Análisis De La Ficha De Evaluación-----	101
4.4.3	Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos. -----	106
4.4.3.1	Análisis De La Ficha De Evaluación.-----	107
CAPÍTULO V.	-----	108
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	-----	108
Bibliografía	-----	110

ABSTRACT

Se presenta la siguiente disertación con el objetivo general que consta de la aplicación de una evaluación técnica visual de estructuras ante fenómenos naturales (como eventos sísmicos y erupciones volcánicas), análisis enfocado precisamente para cuatro puentes que atraviesan el río Santa Clara ubicados en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Cuatro puentes seleccionados debido a que se encuentran constituidos con diferentes técnicas constructivas y materiales. Los puentes que se consideran en la disertación son de hormigón armado, madera, hormigón postensado y mampostería en forma de arco.

Con esta disertación se desea conocer cuál es el estado físico estructural actual de los cuatro puentes en análisis y determinar que tan vulnerables son ante la presencia de un próximo fenómeno natural (como eventos sísmicos y erupciones volcánicas).

Para lograr lo mencionado anteriormente se hace uso de una ficha de inspección diseñada de tal manera que proporcione la información necesaria para aplicar una evaluación técnica visual ante eventos sísmicos y erupciones volcánicas.

Posteriormente del análisis de la ficha de inspección respectiva para cada puente en análisis, se procede a evaluar el índice de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas y eventos sísmicos. Para la evaluación de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas se hace uso del documento realizado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) del Ecuador, documento que evalúa varios parámetros físicos estructurales, con los cuales se obtendrá una puntuación global y se procede al análisis cualitativo para considerar el grado de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas que posee respectivamente cada puente en estudio; por otra parte, la evaluación de vulnerabilidad ante eventos sísmicos está basada en la metodología de estimación preliminar de vulnerabilidad de puentes, propuesta por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, dicha metodología es retomada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, la cual propone evaluar doce parámetros físicos estructurales obteniendo una puntuación global y por medio del resultado se procede al análisis cualitativo para considerar el grado de vulnerabilidad ante eventos sísmicos que posee respectivamente cada puente en estudio.

INTRODUCCIÓN

El valle de los Chillos, en la presente disertación es denominado como el área de estudio. Territorio en donde se encuentran ubicados los cuatro puentes en evaluación técnica visual ante fenómenos sísmicos y volcánicos.

Valle ubicado al suroriente de la capital del Ecuador, al límite del cantón Quito, conforma parte del cantón Rumiñahui con su capital cantonal Sangolquí; además, cuenta con una población urbana de más de 300.000 habitantes aproximadamente (Aguilera, 2004).

Los habitantes del valle de Los Chillos se localizan mayormente en las riberas de los ríos Pita y Santa Clara. En condiciones normales los ríos mencionados presentan torrentes calmados, que tienden a convertirse en cauces o vías de paso de lahares provenientes del volcán Cotopaxi al momento de producirse una erupción volcánica (Aguilera, 2004).

El volcán Cotopaxi (con una altura de 5.897 msnm) se encuentra ubicado a 38 km (distancia lineal) con referencia del puente de hormigón armado (El Aguacate) localizado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

El volcán Cotopaxi produce constantes deshielos, los cuales son drenados por cuantiosas quebradas. Una de ellas es la quebrada de Agualongo, ubicada en el flanco occidental del volcán Cotopaxi, conocida por ser el sitio donde descienden en su mayoría lahares secundarios. Ésta y numerosas quebradas más son las encargadas de alimentar a tres sistemas fluviales (Norte, Sur y Oriental). Por el Norte nacen, producto del deshielo glaciar, los ríos Pita y El Salto. Continuando con su cauce forman los ríos Santa Clara y San Pedro; hacia el Sur, se tiene la formación de los ríos Saquimala, Alanques y Cutuchi; por el Oriente, los ríos Tamboyacu y Tambo. Ríos que aguas abajo se los denomina nuevamente como río Tambo, continuando con su cauce forman el río Jatunyacu, el cual desemboca en el río Napo (IGEPN I. G., 2013).

Los ríos Pita y Santa Clara tienen una incidencia directa en la conducción de flujos emanados por el volcán Cotopaxi, como se manifiesta en los relatos de (Sodiro & Wolf, 1877). En sus relatos se menciona que los lahares, producto del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi de 1877, circularon por el río Pita recorriendo los cerros de Pasochoa y Sincholagua. Lahares que llegaron hasta la ubicación donde el cauce modelaba un recodo de 90 grados, tomando esta zona el nombre de “La Caldera”. Debido a la fuerza del cauce del río Pita se produjo un desborde, simulando un salto a la orilla izquierda que desembocaría en el río Santa Clara, afectando su cauce

directamente a todos los poblados a su paso, sobre todo al valle de los Chillos por sus numerosos asentamientos (IGEPN I. G., 2013).

En la publicación realizada por (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013) sostiene que el río Santa Clara tienen la capacidad de acarrear entre el 30% al 40% del caudal pico del lahar producto del deshielo glaciar, combinado con ceniza volcánica, residuos vegetales, lodos y rocas, materiales que conforman los mencionados lahares.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN I. G., 2015), el riesgo adjudicado a una posible erupción del volcán Cotopaxi demandó una mayor atención, a partir del reporté del “27 de mayo de 2015, cuando se reportó que el volcán presentó un incremento en su sismicidad, en especial en el número de sismos VLP (que por sus siglas en inglés significan Very Long Period (sismos de muy largo período) que ocurren en volcanes activos y que normalmente están asociados con movimiento de magma o fluidos en el interior del volcán)” (IGEPN I. G., 2015).

De acuerdo al estudio realizado por (D'Ercole R. , 2007) haciendo referencia al Índice de Explosividad Volcánica, el Cotopaxi es el volcán con mayor número de erupciones que afectaron directamente al valle de Los Chillos, nueve de gran magnitud desde 1534. La última erupción considerada por dicho estudio es la que se presentó en 1877. Según los relatos históricos de (Sodiro & Wolf, 1877), dicha erupción ocasionó la formación de lahares de significativa magnitud, que se drenaron por los ríos Santa Clara y Pita. En sus relatos también mencionan que los lahares a su paso ocasionaron el desborde de los ríos, destruyendo “muchos poblados e infraestructura (puentes, fábricas, graneros, sistemas de riego, haciendas y casas)” (Sodiro & Wolf, 1877).

El valle de los Chillos, no ha sido afectado únicamente por fenómenos de origen volcánico. Se registran eventos históricos sísmicos, que han causado daños sustanciales al territorio del valle. En todos los siglos a excepción del siglo XIX, se registra algún tipo de movimiento telúrico debido a la estructura geológica en donde se encuentran asentados los poblados del valle de los Chillos. La estructura geológica donde se sitúa el valle de los Chillos es denominada como sistema de fallas de Quito. Fallas que recorren el este de la provincia de Pichincha entre las elevaciones que limitan al valle de Tumbaco y el valle de los Chillos. Son sistemas de fallas inversas que por su condición en compresión tienden a levantarse. El fenómeno se produce cuando uno de los bloques que conforma la falla, en este caso el bloque de Quito, se levanta relativamente con el otro bloque (del valle) y viceversa. Efecto que es

producido por el accionar de la fuerza de compresión tectónica entre bloques, cuando se aplica un determinado empuje desde el occidente del continente (Yepes, 2014).

El bloque de Quito debido a sismos repetitivos producidos históricamente, ha llegado a acumular 400 m de diferencia con el bloque perteneciente al valle de los Chillos (Yepes, 2014).

Debido a los fenómenos sísmicos y volcánicos, que representan una constante amenaza para el valle de los Chillos. Se precisa diagnosticar, a través de la aplicación de una evaluación técnica visual de puentes ante fenómenos naturales (como eventos sísmicos y erupciones volcánicas), el grado de vulnerabilidad de la estructura de cada puente en análisis de acuerdo al estado físico-estructural actual.

Cuatro puentes que poseen características constructivas y materiales distintos debido a que fueron construidos de hormigón armado, madera, hormigón postensado y de mampostería en forma de arco; sin embargo, puentes en fin semejantes por el hecho de atravesar por igual el cauce del río Santa Clara.

CAPÍTULO I.

1. Generalidades

En este primer capítulo llamado generalidades, se plantea la problemática que se encuentra en la disertación titulada “ Aplicación De La Evaluación Técnica Visual De Estructuras Ante Fenómenos Naturales, Para Cuatro Puentes Que Atraviesan El Río Santa Clara, Cantón Rumiñahui, Provincia De Pichincha”; se establecen los objetivos y el alcance del tema que se desarrolla, además parte de la historia de cómo se originan las estructuras a evaluar.

1.1 Antecedentes

Durante la prehistoria se origina el arte de construir un puente, colocándose como una de las prácticas más antiguas del hombre. Se precisa que esta labor inicia cuando el hombre prehistórico idea derribar un árbol que al caer el mismo tenga la facultad de conectar dos puntos en diferentes espacios, que de distinta manera no se podría acceder (Historia Puente, 2016)

En la actualidad, lastimosamente no existen vestigios de las primeras obras de puentes primitivos pero al imaginarlas lo hacemos de tal manera que cumplieran con las necesidades que solicitaban las antiguas civilizaciones. Obras que servían al hombre prehistórico para contrarrestar obstáculos geográficos como ríos o barrancos. Es un hecho que los puentes han ido evolucionando con el pasar de los tiempos, haciendo su aparición las pasarelas colgantes, también puentes en voladizo, hasta llegar a construir estructuras con mayor resistencia y durabilidad como lo son las edificadas realizadas en la época del imperio Romano. Los materiales que se utilizaron hasta finales del siglo XVIII fueron la piedra y la madera debido a que el hierro forjado no se podía obtener a precios que hicieran al material asequible, lo que provocó que se limite el uso de este material para la construcción. Se tuvo que esperar casi un siglo hasta que se encuentre en condiciones económicas aceptables para su adquisición (Miliarium, 2016).

En la actualidad para la construcción de puentes se hace uso de materiales como la madera, piedra, concreto, hierro y acero, convirtiéndose algunos materiales de estos solamente decorativos. La utilidad que se le da a los puentes por lo general está ligada a estructuras viales, que sus trazos pasan por encima de la superficie permitiendo vencer obstáculos, otros son exclusivamente para el paso de ferrocarriles y encontramos los que permiten solo el tránsito de peatones. También los puentes

diseñados y ejecutados para el traslado de agua como se los usó de manera de acueductos en la época romana. Todos al fin y al cabo conforman el conjunto llamado puentes, los mismos que satisfacen necesidades y requerimientos de las civilizaciones (Miliarium, 2016).

1.2 Planteamiento Del Problema

En nuestro país actualmente, no existe ninguna normativa que solicite la aplicación de una evaluación técnica visual para puentes ante fenómenos sísmicos o fenómenos de origen volcánico. Evaluación técnica de puentes que brinde la posibilidad de diagnosticar, de acuerdo al estado actual del puente, el grado de vulnerabilidad de su estructura por el accionar de un fenómeno natural (como eventos sísmicos y erupciones volcánicas).

La problemática se encuentra en la proximidad que se suscite a corto o a mediano plazo un nuevo fenómeno natural (sismo o erupción volcánica), amenazas que se encuentran latentes. Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN I. G., 2015), se demandó mayor atención hacia los fenómenos naturales debido a dos grandes sucesos. El reporte de reactividad del volcán Cotopaxi realizado el día 27 de mayo de 2015 enviado por el (IGEPN I. G., 2015) ; por otra parte, el evento sísmico ocurrido el día 16 de abril de 2016 con epicentro la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí (IGEPN, 2016).

El volcán Cotopaxi reporta el día “27 de mayo de 2015”, un aumento de su sismicidad que normalmente está asociado con movimiento de magma o fluidos en el interior debido a su condición de volcán activo. A su vez el Cotopaxi es el volcán con mayor número de erupciones que afectaron directamente al valle de Los Chillos, se torna una necesidad inminente a pesar que no lo exija ninguna normativa, la aplicación de una evaluación técnica visual a las posibles estructuras que se podrían ver afectadas por dicha erupción. Estructuras actualmente posicionadas en lugares que fueron afectados dentro de las últimas nueve erupciones del volcán Cotopaxi según antecedentes históricos (IGEPN I. G., 2015).

Sin embargo, los fenómenos de origen volcánico no han sido los únicos en afectar directamente al valle de los Chillos.

El día 16 de abril de 2016 se suscitó uno de los desastres sísmicos de mayor magnitud en la historia del Ecuador. Sismo, registrado por el IGEPN, el cual presentó una magnitud de 7.8 (Mw), con una profundidad de 20 km, su epicentro se ubicó en la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí. El valle de los Chillos, no presentó ningún

daño considerable en las estructuras que conforman su poblado. Se debe a que la aceleración máxima del suelo percibida por el valle fue de 0,063g a diferencia con la aceleración máxima del suelo que se presentó en el epicentro, registrando 0,4g (SNGR, 2011).

La amenaza sísmica hacia el valle de los Chillos está presente, es la razón por la cual se requiere la aplicación de una metodología de evaluación técnica visual de puentes. Evaluación que permita conocer el grado de vulnerabilidad de cada puente en análisis ante un nuevo evento sísmico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar mediante una metodología de análisis técnica visual de estructuras, el estado actual de los puentes que atraviesan el río Santa Clara e identificar su grado de vulnerabilidad ante un fenómeno natural, como sismos y erupciones volcánicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Conocer aspectos generales que colaboren con el desarrollo metodológico de la evaluación técnica visual para puentes.
- b. Analizar el área de estudio, lugar donde se encuentran ubicados los puentes.
- c. Registrar las actuales condiciones físicas y técnicas de cada puente.
- d. Analizar la información de las evaluaciones de vulnerabilidad ante fenómenos volcánicos y sísmicos, identificando también su grado de vulnerabilidad.

1.4 Alcance

El trabajo de investigación se dirige a la aplicación de una evaluación técnica visual de estructuras ante fenómenos naturales (como sismos y erupciones volcánicas) para los siguientes puentes: puente de hormigón armado (El Aguacate) Figura 1.3, puente de madera Figura 2.3, puente de hormigón postensado (Enkador) Figura 3.3 y puente de mampostería en forma de arco Figura 4.3; puentes que atraviesan el río Santa Clara, localizados dentro del cantón Rumiñahui y formando parte de la provincia de Pichincha.

La aplicación de la evaluación técnica visual permite diagnosticar, en base de una calificación, el grado de vulnerabilidad de los puentes en análisis por el accionar de un fenómeno natural (como eventos sísmicos y erupciones volcánicas) de acuerdo al estado físico-estructural actual de cada puente. A partir de la aplicación de esta evaluación técnica visual de estructuras se pretende obtener resultados confiables expresados de forma cualitativa.

Se consideran en la investigación como fenómenos naturales a los desastres generados en el interior de la Tierra como son erupciones volcánicas y movimientos sísmicos; debido a ser los fenómenos más recurrentes en el valle de Los Chillos en los últimos 500 años (Sodiro & Wolf, 1877). En la investigación se contempla que la zona de estudio es vulnerable a muchos más fenómenos naturales; entre ellos, inundaciones, deslizamientos de tierras y aluviones, sin embargo la falta de ocurrencia en los últimos años han limitado su estudio en la presente investigación.

Con la finalidad de dar cumplimiento con el objetivo general, la presente investigación se ha circunscrito a la evaluación técnico visual de las estructuras de los cuatro puentes con el uso de la metodología de análisis cualitativo de grado de vulnerabilidad ante fenómenos sísmicos y volcánicos.

Los puentes han sido elegidos por poseer diferentes características constructivas y distintos materiales de construcción; sin embargo, todos se encuentran atravesando el río Santa Clara dentro de la zona en estudio perteneciente al valle de los Chillos. A continuación se presentan los puentes en análisis considerándolos de norte a sur:

- Puente de hormigón armado (El Aguacate), calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero (Figura 1.3).

Tabla 1.
Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado (El Aguacate), calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO					
PUENTE	COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA (M)	LUZ (m)	ANCHO (m)
INICIA	784241.01 E	9963918.34 S	17	39,5	14,4
TERMINA	784270.71 E	9963932.49 S	17		

Fuente: (Martin Núñez, 2016)



Figura 1.1 Ubicación del puente de hormigón armado (El Aguacate), calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 1.2 Puente de hormigón armado (El Aguacate), calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. Fuente: (Martin Núñez, 2016).

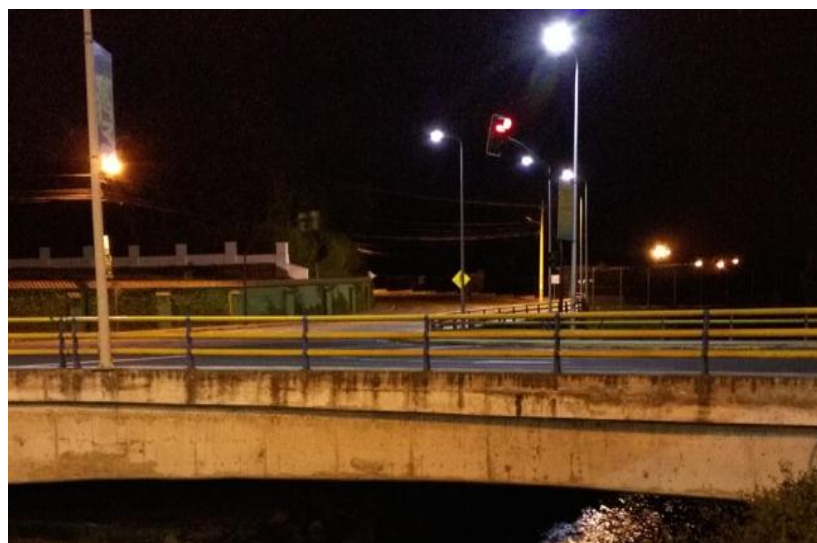


Figura 1.3 Puente de hormigón armado (El Aguacate), calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. Fuente: (Martin Núñez, 2016).

- Puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De

PUENTE DE MADERA					
PUENTE	COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA (M)	LUZ (m)	ANCHO (m)
INICIA	787148.87 E	9960697.84 S	17	12,38	4,7
TERMINA	787161.92 E	9960702.09 S	17		

Salinas (Figura 2.3).

Tabla 2.

Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas.

Fuente: (Martin Núñez, 2016).



Figura 2.1 Ubicación del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 2.2 Martin Núñez (izq.) sobre puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).



Figura 2.3 Puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).

- Puente de hormigón postensado (Enkador), vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas (Figura 3.3).

Tabla 3.

Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón Postensado (Enkador), vía hacia el barrio San Fernando y Av. Juan De Salinas.

PUENTE DE HORMIGÓN POSTENSADO					
PUENTE	COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA (M)	LUZ (m)	ANCHO (m)
INICIA	787056.65 E	9960610.48 S	17	27,20	12
TERMINA	787077.97 E	9960591.34 S	17		

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

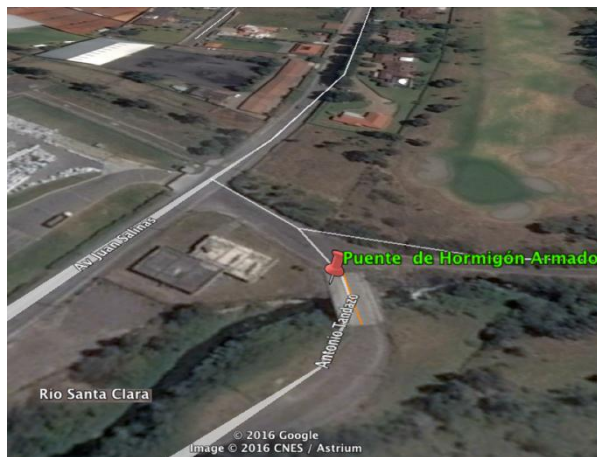


Figura 3.1 Ubicación del puente de hormigón postensado (Enkador), vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Google Earth, 2016)

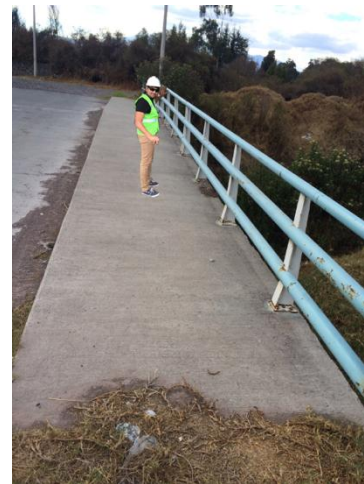


Figura 3.2 Martin Núñez (izq.) sobre puente de hormigón postensado (Enkador), vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).



Figura 3.3 Puente de hormigón postensado (Enkador), vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).

- Puente en arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas (Figura 4.3).

Tabla 4.
Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de de Mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas.

PUENTE EN ARCO DE MAMPOSTERÍA					
PUENTE	COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA (M)	LUZ (m)	ANCHO (m)
INICIA	787074.53 E	9960023.21 S	17	15	4,2
TERMINA	787077.00 E	9960012.00 S	17		

Fuente: (Martin Núñez, 2016).



Figura 4.1 Ubicación del puente en arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 4.2 Martin Núñez (izq.) sobre puente en arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).



Figura 4.3 Puente en arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas. Fuente: (Martin Núñez, 2016).

CAPÍTULO II.

2. Aspectos Generales

En este segundo capítulo se muestra las principales bases teóricas de la investigación. El objetivo de este capítulo es facilitar la comprensión del tema que se desarrolla en la presente disertación. Se requiere tener en claro aspectos generales referentes a puentes, fenómenos naturales (eventos sísmicos y erupciones volcánicas) y a la metodología aplicada en la evaluación técnica visual de estructuras ante fenómenos naturales (erupciones volcánicas y eventos sísmicos).

2.1 Marco Teórico

En la aplicación de la evaluación técnica visual de estructuras ante fenómenos naturales, tema central de este trabajo de disertación, es necesario tener una fundamentación teórica consolidada por definiciones, conceptos y teorías; que serán utilizados a lo largo de la investigación.

Es necesario el uso de terminología adecuada la cual facilite la comprensión de expresiones utilizadas ante la presencia de un fenómeno natural. A continuación, se presentan los siguientes términos:

2.1.1 Desastre

Es un evento o suceso adverso que produce daños en el funcionamiento de una sociedad, generalmente ocurre de manera inesperada y repentina. Un desastre da origen a pérdidas catastróficas humanas, animales, materiales o daños medioambientales severos (Deconceptos, Salud, & Lorelta, 2016).

Los desastres pueden ser ocasionados por la propia naturaleza, por el accionar del ser humano o ser consecuencia de una falla técnica en sistemas industriales a gran escala (Salazar, 2008).

Los fenómenos naturales que provocan desastres son los que se generan en el interior de la tierra (sismos/terremotos, tsunamis/maremotos, erupciones volcánicas), los generados por procesos dinámicos de la superficie de la tierra (deslizamientos, derrumbes, aludes, aluviones), desastres generados por fenómenos meteorológicos o hidrológicos (inundaciones, sequías, heladas, tormentas, granizadas, tornados, huracanes) y desastres de origen biológico (plagas, epidemias, pandemias) (Enciclopedia, 2016).

2.1.2 Riesgo

El riesgo se define como la relación de probabilidad que se suscite un evento negativo y su vulnerabilidad a una amenaza. Es decir, relación vulnerabilidad y amenaza (CIIFEN, 2009).

Es la posibilidad que se produzca un daño o un contratiempo peligroso, en determinado tiempo. Se encuentra en función de la ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a dichas amenazas (Ministerio de salud, 2016).

El riesgo se considera en función de una amenaza natural conocida y la vulnerabilidad de personas existentes en un determinado tiempo a lo largo de diferentes eventos extremos (Blaikie, Cannon, David, & Wisner, 1996).

Para apreciar el riesgo en toda su dimensión que lo constituye, se relaciona un enfoque de cuatro elementos “amenaza, vulnerabilidad, elementos expuestos y resiliencia” (D’Ercole R. , 2007).

2.1.3 Amenaza

Es un factor externo de riesgo que representa potencial peligro social, ambiental y económico. Puede presentarse en un sitio determinado durante un período de tiempo (Ministerio de salud, 2016),

La amenaza se presenta como un peligro latente, relacionado con un fenómeno natural u ocasionado por el ser humano, que pone en peligro a un grupo de personas, sus cosas materiales y medioambiente (D’Ercole & Trujillo, 2003).

Se define a la amenaza como una condición peligrosa de un fenómeno natural o actividad humana que puede ocasionar daños a la propiedad privada, pérdida de recursos, de servicios y provocar la muerte del ser humano (CIIFEN, 2009).

De acuerdo a su origen, las amenazas pueden ser naturales; actividades que no intervienen actividad humana (sismos, erupciones volcánicas, inundaciones...), antrópicas; generadas por la actividad humana (guerras, explosiones, incendios, contaminaciones, desechos químicos...) o mixtas; proceso natural modificado por el ser humano (deslizamientos, sequías, derrumbes, epidemias...), amenazas que se convierten en desastres cuando de ellas se derivan daños sustanciales y afectaciones a la vida humana (Ministerio de salud, 2016).

2.1.4 Vulnerabilidad

Es la predisposición característica que tiene un sujeto o elemento a sufrir daño alguno a causa de acciones externas probables (Cardona, 1993).

Eventualidad característica de una comunidad, sistema o bien que produce susceptibilidad frente a daños efectuados por una amenaza (CIIFEN, 2009).

Se la expresa en manera de escala que va desde sin daño (grado=0) hasta pérdida total (grado=1). El grado representa la pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado que se debe a la posible ocurrencia de un desastre (UNDRO, 1979).

Se considera a la vulnerabilidad como un factor interno de riesgo que amenaza a una comunidad debido a que puede resultar afectada (Ministerio de salud, 2016).

Puede definirse la vulnerabilidad como la capacidad de una persona o un grupo de personas para anticiparse, resistir y recuperarse frente a una amenaza natural. Depende de características de cada grupos social afrontar daños frente a amenazas, debido a que cada grupo es más susceptible dependiendo de su género, etnicidad, clase o edad (Blaikie, Cannon, David, & Wisner, 1996).

2.1.5 Elementos Expuestos

Al referirse a los elementos expuestos es necesario mencionar que se habla de todo lo que interesa al ser humano y puede afectarlo o dañarlo ante la presencia de un evento inesperado perjudicial. Cuando existen elementos expuestos, intrínsecamente hay riesgo de afectación; por consiguiente la comunidad está en la obligación de precautelar y proteger los mismos (D'Ercole & Trujillo, 2003).

2.2 Conceptos Generales De Puentes

En esta sección se amplía la información general sobre puentes. Conceptos que permiten la mejor comprensión del tema de disertación en desarrollo, tales como: su definición, clasificación y elementos que los constituyen.

2.2.1 Definición

Se define el término puente cómo la estructura construida con el propósito de conectar diferentes espacios que de distinta manera no se podría tener acceso, salvando a su vez un obstáculo natural (como ríos, lagos, vertientes, etc.) o obstáculo artificial (como vías, calzadas, carreteras, etc.) (ABC, 2016).

2.2.2 Clasificación

Los puentes se clasifican de acuerdo a singularidades que los distinguen unos de otros, a continuación se muestra la clasificación común de acuerdo a las características propias de cada puente:

2.2.2.1 De acuerdo a su función primordial que realizan

Acueductos: puentes que conducen agua (THALES, 2016).

Viaductos: puentes destinados al paso vehicular y paso de líneas férreas (Miliarium, 2016).

Pasarelas: puentes para el uso estricto de peatones (Rodríguez, 2012).

2.2.2.2 Según el tipo de tablero anclado

Fijos: puentes anclados de forma permanente en las pilas (Cardoza & Villalobos, 2005).

Móviles: puentes que pueden desplazarse para dar paso a embarcaciones (Miliarium, 2016).

Pontones: puentes apoyados sobre soportes flotantes móviles (Cardoza & Villalobos, 2005).

2.2.2.3 De acuerdo al material empleado en la construcción

Madera: puentes de uno o varios troncos de árbol que unen dos orillas de un riachuelo (Rodríguez, 2012).

Mampostería: puentes que pueden estar conformados por distintos materiales como piedra, ladrillo o concreto en masa (UNIVO.Edu, 2013).

Fundición: puentes elaborados con hierro fundido, material frágil con una débil resistencia a tracción (Navarra, 2007).

Hierro: puentes con mayor resistencia a la tracción comparativamente con los de fundición, completamente fabricados de hierro fundido (Escobar, 2011).

Acero: puentes de alta resistencia, que sustituyeron totalmente a los puentes contruidos con fundición y con hierro (Rodríguez, 2012).

Hormigón armado: puentes elaborados con colaboración del hormigón y del acero, resistentes a esfuerzos de flexión. El hormigón es un material muy resistente a compresión y las barrillas de acero resistentes a tracción (THALES, 2016).

Hormigón presforzado: puentes conformados con vigas resistentes a tracción, debido a la tensión en sus tendones de acero. El tensado que se realiza es previo a la fundición del hormigón dentro de su período constructivo (Rodriguez, 2012).

Hormigón postensado: puentes conformados con vigas resistentes a tracción, semejantes a las que se encuentran en los puentes de hormigón presforzado; sin embargo el tensado en sus tendones de acero es posterior a la fundición del hormigón (Navarra, 2007).

Materiales compuestos: puentes que tienen sus elementos constituidos por materiales alternativos como fibras de vidrio, de carbono, polímeros o combinación de ellos con otros materiales (Cardoza & Villalobos, 2005).

2.2.2.4 Según su modelo estructural

Isostáticos: puentes cuyos tableros son estáticamente independientes uno de otros, a su vez poseen independencia en flexión y en los apoyos que lo sostienen. Puentes donde se aplican las condiciones de equilibrio estático (Miliarium, 2016).

Hiperestáticos: puentes donde sus tableros dependen uno de otros desde el concepto general de la estática, poseen dependencia entre tableros y sus apoyos. Puentes que no se aplican las condiciones de equilibrio estático (Cardoza & Villalobos, 2005).

2.2.2.5 De acuerdo a su tipología estructural

De Arco: puentes apoyados en los extremos de su vano, que transmiten sus cargas a través de su estructura con forma de arco. Trabaja a compresión la mayor parte de su estructura (Navarra, 2007).

En Ménsula: puentes en los cuales sus vigas principales trabajan como ménsulas consecutivas, que son estructuras horizontales que se proyectan en el espacio y que solamente se encuentran soportadas por uno de sus extremos (UNIVO.Edu, 2013).

En Vigas: puentes cuyos vanos son soportados por vigas. En la zona inferior de la estructura trabaja a tracción y en la superior a compresión, soportando esfuerzos de flexión (Miliarium, 2016).

Colgantes: puentes que son sostenidos a través de un arco invertido conformado por cables de acero, mientras que el tablero se encuentra suspendido mediante tirantes verticales. La mayor parte de la estructura trabaja a tracción (UNIVO.Edu, 2013).

Atirantados: puentes en los que el tablero se encuentra suspendido de uno o varios pilotes centrales mediante obenques, cables principales que conectan de pila a pila y

sostienen el tablero a través de cables secundarios. Sus partes pueden trabajar a tracción como a compresión (Navarra, 2007).

Apuntalados: puentes formados por cables que sujetan a la estructura desde diferentes puntos de amarre. Con elementos que trabajan a compresión, tensión o una combinación de ellos (Amaya, 1996).

2.2.3 Elementos Que Los Constituyen

Los elementos principales que conforman un puente según su estructura general se encuentran clasificados en dos grandes grupos, influyendo tanto en lo técnico como en lo teórico. Estos son: superestructura y subestructura.

2.2.3.1 Superestructura.

La superestructura está constituida por aquellos elementos que conforman el tablero del puente, como son: vigas o elementos principales, losas, diafragmas, riostras, arcos, cables, tirantes, armaduras, pendolones, juntas de dilatación, separadores, pavimentos, drenes, andenes, barandas, apoyos, separadores, anclajes, catenarias y bordillos. En la Figura 2.1. se muestra el esquema de las partes básicas que conforman la superestructura.

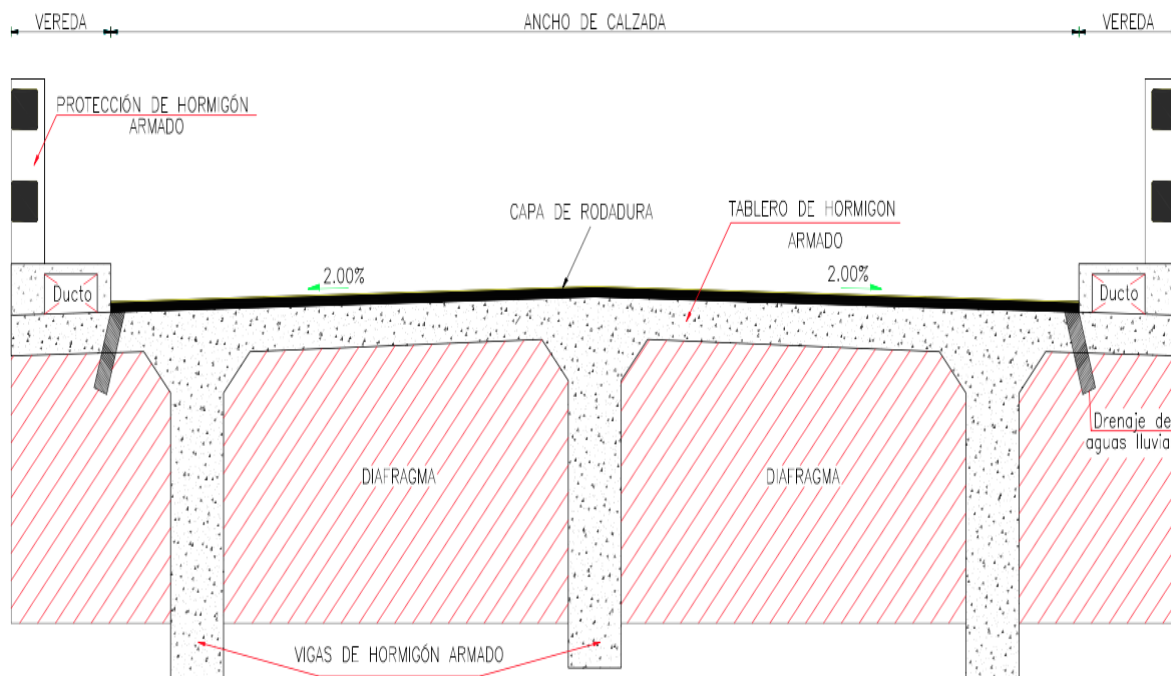


Figura 2.1. Esquema de partes básicas que conforman la superestructura. Fuente: (Gudiño & Ayala, 2012)

2.2.3.2 Subestructura.

La subestructura también llamada infraestructura, se encuentra concebida por todos los elementos destinados a recibir y transmitir cargas generadas por la superestructura hacia el suelo (Cardoza & Villalobos, 2005). "La subestructura se compone de los siguientes elementos: estribos, pilotes, pilas, cimentaciones, torres y apoyos. También las losas de aproximación o de acceso, el terraplén de acceso y taludes hacen parte de esta" (Muñoz & Javeriana, Ingeniería de Puentes, 2012). Se muestra un esquema de las partes básicas que conforman la subestructura en la Figura 2.2.

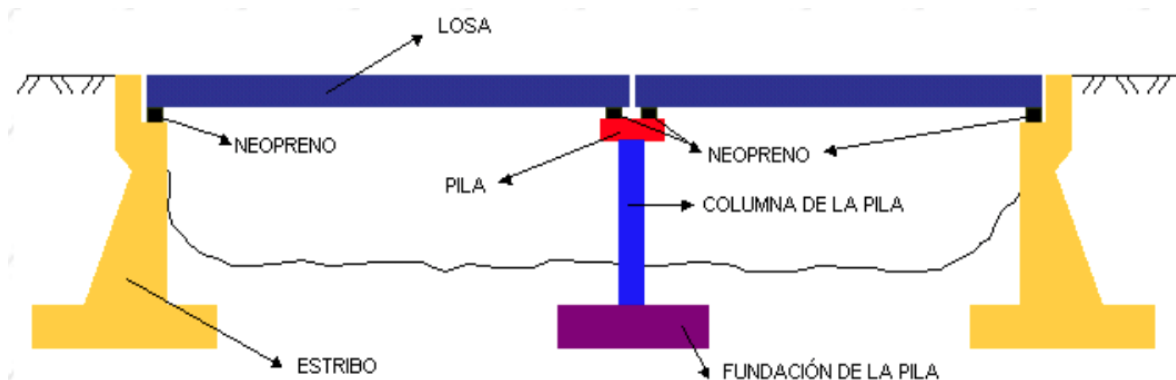


Figura 2.2. Esquema de partes básicas que conforman la subestructura. Fuente: (Gudiño & Ayala, 2012)

En la Figura 2.3 se muestra un esquema en vista real de las partes que conforman la subestructura y superestructura con su nomenclatura respectiva.



Figura 2.3. Elementos básicos de un puente. Fuente: (Muñoz & Javeriana, Ingeniería de Puentes, 2012).

2.3 Conceptos Generales De Fenómenos Naturales

Para el trabajo de disertación que se desarrolla se requiere conocer algunos de los conceptos generales referidos a los cambios de la naturaleza que se presentan sin la intervención directa del hombre; suscitándose por sí solos.

Se aborda conceptos referentes a fenómenos generados en el interior de la tierra, como terremotos y erupciones volcánicas, por ser los sucesos más recurrentes en la zona de estudio (Sodiro & Wolf, 1877).

2.3.1 Definición De Erupción Volcánica

Una erupción volcánica es un proceso de emisión de material procedente del interior de la Tierra por medio de un volcán. Emanación que se produce por un orificio circular conocido con el nombre de cráter, lugar por donde son expulsados los materiales volcánicos (Vulcanismo, 2002).

Inicia con la presencia de roca fundida sometida a altas presiones y temperaturas (700-1200°C), dentro de una cámara magmática. Las rocas son provenientes de la litósfera (Corteza y Manto Superior de la Tierra) que al ser fundidas toma el nombre de magma. Al aumentar la temperatura y debido a la baja densidad que posee el magma, se produce un ascenso a través de un conducto llamado chimenea. Llegando dicho magma ardiente al exterior del volcán hasta ser expulsado y convertirse en lava volcánica (Cabrera & Jilder, 2012).

En la Figura 2.4. se localizan las partes que conforman a un volcán, partes mencionadas en el proceso de emisión de material volcánico descrito anteriormente.



Figura 2.4. Partes del volcán Cotopaxi en proceso de emisión de material volcánico. Fuente: Fuente: (Martin Núñez, 2016).

2.3.2 Definición De Fenómenos Sísmicos

Es frecuente confundir tres definiciones diversas existentes en el idioma español referidas a los fenómenos sísmicos. Se considera al “Temblor”, de la misma manera que al “Sismo”, como “evento sísmico que no ocasiona daños materiales o económicos perceptibles ni pérdidas humanas; se le llama “Terremoto” al evento cuando este ocasiona daños perceptibles de cualquier tipo en la sociedad humana” definiciones obtenidas de la Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica, (Rica, 2016).

Los fenómenos sísmicos o también conocidos como movimientos telúricos son los nombres que se le da a la colisión entre fracturas localizadas en la corteza terrestre denominadas con el nombre de placas tectónicas. El choque entre placas tectónicas se presentan en la superficie terrestre con movimientos vibratorios por una rápida liberación de energía en el impacto (La Patria, 2012).

Dependiendo de la fuerza y energía desprendida en el impacto producido entre placas se debe el grado de su terminología ya sea temblor, sismo o terremoto (Cotilla, 2007).

Se producen diariamente miles de movimientos telúricos en el mundo, en su mayoría casi imperceptibles. Estos movimientos se suscitan en las fronteras de las 28 placas como se muestra en la Figura 2.6 que envuelven la superficie terrestre. Este fenómeno se debe a que las placas tectónicas flotan por encima de ríos de magma ardiente. Se forman los sismos, temblores y terremotos debido a que el magma se desprende de manera que se crea un impulso entre placas, asíndolas colisionar entre sí a lo largo de una línea llamada falla (Comercio, 2016) .

Se denomina falla a la línea de fractura de la corteza terrestre donde se produce el movimiento de bloques macizos de tierra que son separados por la misma. Movimiento de bloques que se produce dentro del plano de falla (Rica, 2016).

El plano de falla es donde se desplazan los bloques, su desplazamiento puede ser horizontal, vertical o inclinado (Rica, 2016) .

Los bloques o también llamados labios de falla son macizos rocosos divididos en dos porciones que se encuentran separados por el plano de falla. Existen dos tipos de bloques entre la falla. El bloque “levantado”, aquel que se encuentra por encima del otro tipo de bloque, denominado “hundido” (Martínez, 2009).

El movimiento de estos bloques forman esfuerzos tectónicos de compresión o gravitatorios que actúan en la corteza terrestre produciendo los sismos (Moreno, 1991).

Dependiendo del desplazamiento entre bloques tectónicos, se clasifican los diferentes tipos de fallas existentes. En la Figura 2.5 se muestra un esquema gráfico de cómo se verían desplazados los bloques fracturados a lo largo del plano de falla.

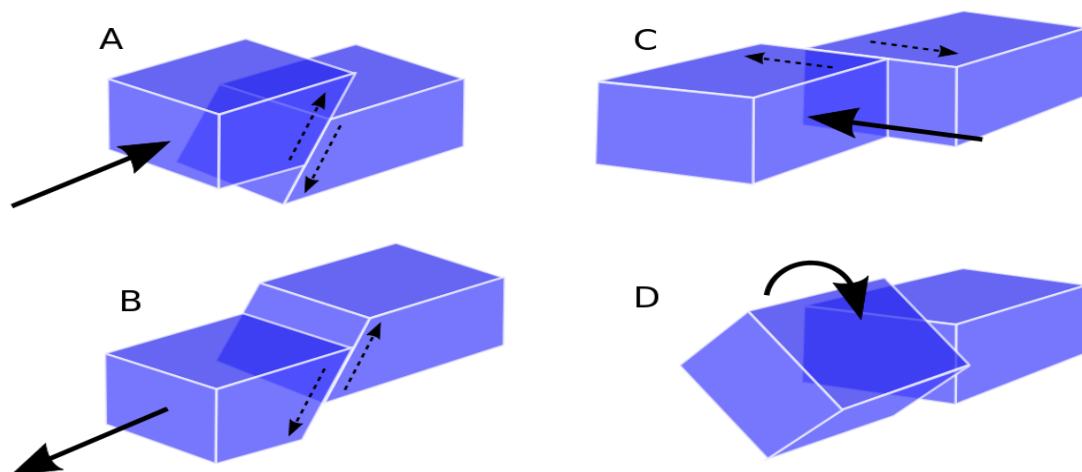


Figura 2.5 Tipos fundamentales de fallas: A) Falla inversa. B) Falla normal. C) Falla de rumbo. D) Falla rotacional (en tijera). Fuente: (Gómez Fernández & Gregors, 2014)

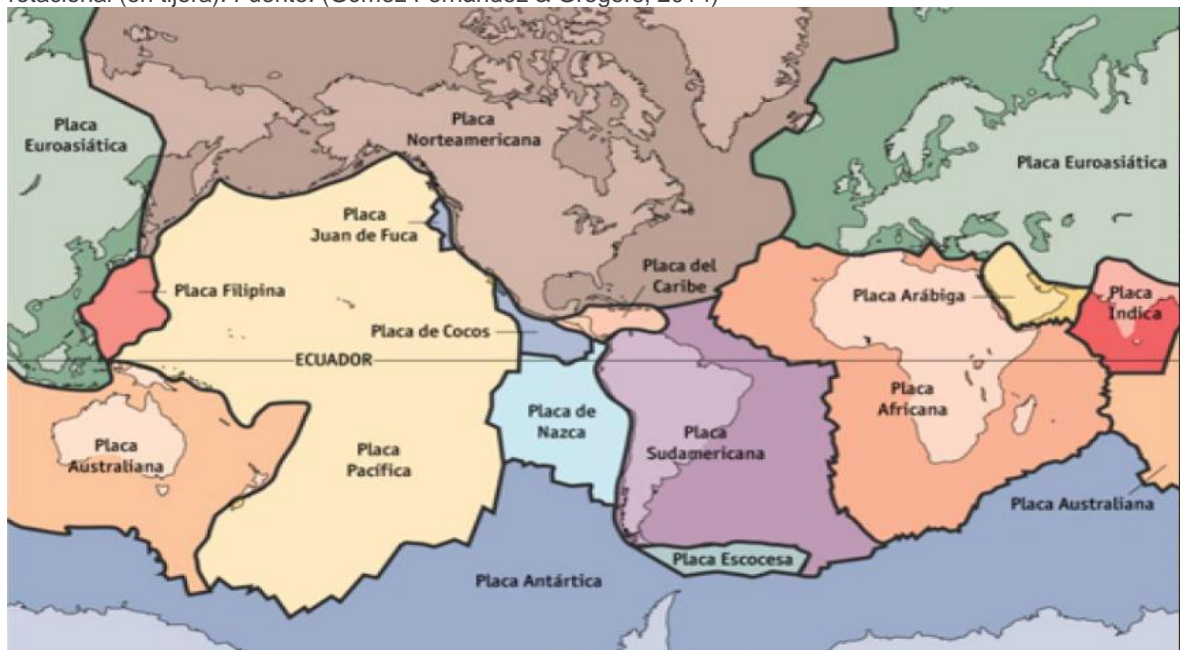


Figura 2.6 Mapa de las placas tectónicas en el mundo. Fuente: (Wikicommons, 2016)

2.4 Metodología De Evaluación De Vulnerabilidad.

En este subcapítulo se establece, identifica y estudia la metodología que se aplica en la evaluación de vulnerabilidad física estructural para cuatro sitios que atraviesan el río Santa Clara ante erupciones volcánicas y eventos sísmicos.

La metodología que se presenta a continuación, muestra que tan vulnerables se encuentran las estructuras de los puentes actualmente al suscitarse un fenómeno natural.

Al ser los puentes estructuras fundamentales en los sistemas viales, es primordial el correcto y continuo funcionamiento. Lo que se busca con la metodología de evaluación de vulnerabilidad es evitar que un puente debido al mal comportamiento de su estructura pueda colapsar por efecto de los fenómenos naturales anteriormente mencionados (SNGR, 2011).

2.4.1 Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) del Ecuador, por medio de su proyecto “Sistema de Alerta Temprana y Gestión del Riesgo Natural”, plantea una nueva propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad de las redes viales existentes en la zona de influencia del volcán Cotopaxi (SNGR, 2011).

En la presente disertación se hace uso de la metodología propuesta por la (SNGR, 2011) para evaluar cuatro puentes, que se estima serán afectados en el caso de suscitarse una nueva erupción volcánica.

La metodología que se desarrolla, evalúa el índice de vulnerabilidad física estructural de cuatro puentes posiblemente afectados por acción volcánica del Cotopaxi, desde un enfoque técnico visual. En este caso se aplica para la interpretación de resultados obtenidos de la evaluación, un método práctico cualitativo. Método que revela las características de que tan vulnerables se encuentran los puentes ante una erupción volcánica (SNGR, 2011).

Los criterios e información explicativa que se utilizan para definir las variables que se usan en la evaluación de vulnerabilidad física estructural de puentes, están basados en definiciones brindadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2000), como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.
Criterios para evaluación de vulnerabilidad.

PUENTES	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	EXPLICACIÓN Y USO DE LA INFORMACIÓN
	Exposición	La exposición es una forma de vulnerabilidad pero ésta no es real, salvo si el elemento esencial es susceptible de daño
	Estado del revestimiento	Determina condiciones actuales de funcionamiento que pueden ampliar las condiciones de vulnerabilidad
	Mantenimiento	El mantenimiento de las estructuras, garantiza el buen funcionamiento y la detección de fallas en el sistema
	Estándares de diseño	Al contar con normatividad, en cuanto a parámetros de diseño, se garantiza obra seguras, durables, de funcionamiento adecuado, sostenibles

Fuente: (OPS, 2000).

Con los criterios de variables de vulnerabilidad definidos, se procede a conocer el índice de vulnerabilidad de acuerdo a lo establecido en el documento realizado por la (SNGR, 2011) del Ecuador.

Cada variable de vulnerabilidad es calificada con una puntuación de acuerdo a su indicador correspondiente, valores numéricos posibles en selección dentro del rango de “0” a “10”.

La calificación de las variables de vulnerabilidad en puentes tienen mayor puntuación de acuerdo a su grado de debilidad o vulnerabilidad, como se muestra en la Tabla 6.

Los resultados de la evaluación se los obtiene con la sumatoria global de todas las variables de vulnerabilidad, producto de la calificación de cada parámetro multiplicado por la ponderación asignada. Resultados que se encuentran puntuados en el rango de “0” a “100”.

En el caso de presentarse crecidas del nivel de agua mayores a la altura libre correspondiente al gálibo del puente por el accionar de lahares o flujos de lodo, se considera a la estructura como sumergida. Las estructuras sumergidas serán inmediatamente puntuadas con el valor máximo (100) en el casillero perteneciente a amenazas volcánicas provocadas por lahares o flujos de lodo.

La Tabla 6 que se presenta a continuación, en síntesis refleja las variables de vulnerabilidad, indicadores, amenazas que esta sujeta el área de estudio y los resultados de evaluación.

Tabla 6.
Ficha de evaluación de vulnerabilidad volcánica definida con la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) del Ecuador.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánico lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánico ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTES	Estado del revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de diseño y construcción	Aplica la normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión anterior al 2002	5	5				
		No aplica normativa	10	10				
SUMATORIA TOTAL					-	100	-	100

Fuente: (SNGR, 2011)

Con los resultados de la Tabla 6 que se encuentran en el rango de “0” a “100”, Se procede a la interpretación de resultados con el uso del análisis cualitativo de vulnerabilidad que se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla7.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad de la metodología aplicada.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 HASTA 33	Baja
34 -66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011).

2.4.2 Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural a través de procedimientos basados en la metodología de estimación preliminar de vulnerabilidad de puentes, propuesta por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del mismo país, plantea la aplicación de un sistema de evaluación de vulnerabilidad denominado SIPUMEX (Sistemas de Puentes de México) Modificado (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

SIPUMEX Modificado es la metodología que se adoptará en el presente trabajo de disertación para la evaluación de vulnerabilidad de los puentes en estudio ante eventos sísmicos. Dicha metodología, engloba doce parámetros importantes en la respuesta sísmica de puentes. Parámetros obtenidos a base de aportes efectuados por expertos en la evaluación de sistemas viales (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Se propone con el sistema de evaluación SIPUMEX Modificado, un procedimiento que defina el índice de vulnerabilidad de puentes viales (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Inicialmente se estima la fragilidad existente accionada sísmicamente por doce parámetros, que se presentan en la Tabla 7. Parámetros que son calificados según su fragilidad entre rangos de cero a cinco en función de la inspección visual y de aspectos obtenidos técnicamente de los puentes en análisis. En la Tabla 7 se muestra también las diferentes categorías escogidas de acuerdo a la fragilidad por carga sísmica y la ponderación conforme la importancia de cada parámetro, representada en la columna W_i (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Tabla 7.
Ficha de evaluación de vulnerabilidad sísmica definida con la metodología de SIPUMEX
Modificado.

#	Parámetro	Categoría					Wi
1	Año de construcción	1 > 1993	2 1985 - 1993	3 1977 - 1985	4 1959 -1977	5 1959<	0,1154
2	Irregularidad en la subestructura	1 ninguna	2 -	3 altura de pilas \neq 1,5 a 2 veces	4 -	5 altura de pilas \neq 5 veces	0,1154
3	Irregularidad en superestructura	1 esviaje: $< 10^\circ$	2 esviaje: $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	3 esviaje: $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	4 -	5 esviaje: $> 45^\circ$	0,1154
4	Cimentación	1 roca	2 -	3 arcilla	4 -	5 granular	0,1154
5	Importancia del puente	1 camino D	2 camino C	3 camino B	4 -	5 camino A	0,0962
6	Peligrosidad sísmica	1 zona A	2 zona B	3 zona C	4 zona D	5 zona E	0,1346
7	Juntas de expansión	1 claros < 1	2 claros entre 2 y 3	3 claros entre 4 y 5	4 -	5 claros > 5	0,0192
8	Estribos	1 con aleros integrados, de concreto	2 con aleros integrados, de mampostería	3 pilotes con cabezal, de concreto	4 pilotes con cabezal, de mampostería	5 tipo flotante (de mampostería, madera o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	1 pila sólida, concreto	2 pila sólida, mampostería	3 columna sola con cabezal	4 columna sola	5 otros	0,0769
10	Apoyos	1 apoyo deslizante	2 de neoprenos	3 -	4 apoyo rolado	5 placa de acero	0,0769
11	Trabes	1 vano único	2 vigas monolíticas	3 vigas continuas	4 vigas simplemente soportadas	5 vanos múltiples	0,0769
12	Estado de conservación	1 acción de mantenimiento < 5 años	2 -	3 acción de mantenimiento > 5 años	4 -	5 no se ha realizado mantenimiento	0,0577

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

Para facilitar la selección de categoría de acuerdo a la fragilidad por carga sísmica de algunos parámetros, se debe considerar los siguientes criterios adicionales:

En el parámetro “Importancia del puente” se seleccionará el grado de fragilidad y la categorías respectiva, de acuerdo a la Tabla 8 presentada a continuación.

Tabla 8.
Categorías del parámetro “Importancia del puente”.

Tipo camino	Grado de fragilidad	Comentarios
Camino D	1	Red comunitaria
Camino C	2	Red secundaria
Camino B	3	Red básica
Camino A	5	Autopista

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

En el parámetro de “Peligrosidad sísmica” el grado de fragilidad y categoría correspondiente, serán elegidas según la Tabla 9.

Tabla 9.
Categorías del parámetro “Peligrosidad sísmica”.

Zonas	Grado de fragilidad	Aceleración en proporción de la aceleración de la gravedad
Zona A	1	a. Max < 0,1g
Zona B	2	0,1g ≤ a. Max < 0,2g
Zona C	3	0,2g ≤ a. Max < 0,4g
Zona D	4	0,4g ≤ a. Max < 0,7g
Zona E	5	a. Max ≥ 0,7g

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

En el parámetro “Pilas” de no ser aplicable ninguna de las primeras cuatro categorías o por falta de datos de la estructura, se considerará una quinta categoría denominada “Otros” con grado de fragilidad igual a “5” (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Si se presenta la situación, que dentro de los doce parámetros de evaluación falta información o se tiene duda al seleccionar la categoría correspondiente, se le asignará la categoría con mayor grado de fragilidad (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

En el caso que exista en la inspección visual algún tipo de daño, los parámetros en evaluación se verán afectados con un aumento de una o dos categorías de fragilidad dependiendo de la gravedad del problema (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Con el conocimiento de los doce parámetros, categorías y ponderaciones proyectadas en la Tabla 7 debidamente obtenidas de cada puente. Se calcula el índice de vulnerabilidad por acción sísmica con el uso de la Ecuación 1.

$$IV_{MG} = \sum_{i=1}^{12} Y_i * W_i$$

(2.1)

En donde:

IV_{MG} = índice de vulnerabilidad por acción sísmica.

Y_i = valor de categoría por cada parámetro.

W_i = ponderación por cada parámetro.

Σ = sumatoria de términos.

Con el índice de vulnerabilidad por acción sísmica ya calculado, se realiza un análisis cualitativo de vulnerabilidad de la metodología aplicada, como se muestra en la Tabla 10. Describiendo y concluyendo que tan vulnerable se torna la estructura del puente por acción de un sismo (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

Tabla 10.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad de la metodología aplicada.

Índice De Vulnerabilidad	Descripción
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

CAPÍTULO III.

3. Área Donde Se Encuentran Los Puentes

En este capítulo se presenta el área de estudio donde se lleva a cabo la investigación del trabajo de disertación. Durante el capítulo se afrontan temas como la distribución política del valle de Los Chillos, delimitando el tramo de estudio de acuerdo a la ubicación de los cuatro puentes en análisis como se muestra en la Figura 3.3. Considerando que el tramo de estudio posee una longitud lineal determinada con el mapa de Google Earth de 4813,08 m, desde el puente del “Aguacate” ubicado al norte del valle de los Chillos, hacia el puente de mampostería en forma de arco en el extremo sur del área de estudio. Consecuentemente se tiene que la longitud lineal de estudio a lo largo del cauce del río Santa Clara es de alrededor de 5 km aproximadamente como se muestra en la Figura 3.3.

El capítulo III aborda a detalle el estudio de las características físicas e hidrológicas del río Santa Clara. Dentro del capítulo se profundiza la investigación de la geología y del estudio de suelos donde se encuentran cimentados los puentes.

El capítulo también incluye el estudio de amenazas generadas en el interior de la Tierra como erupciones volcánicas y fenómenos sísmicos, principales amenazas que afectarían al valle de los Chillos.

3.1 Área De Estudio

Para la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes, se determina inicialmente el área dónde se ejecuta la investigación. Corroborando lo mencionado, se sabe que los cuatro puentes en estudio atraviesan el río Santa Clara, puentes ubicados dentro del valle de los Chillos, al suroriente del Distrito Metropolitano de Quito.

El valle de los Chillos es una región ecuatoriana perteneciente a la provincia de Pichincha, clasificada orográficamente como valle. Geográficamente ubicada según coordenadas UTM en la longitud: 783840.20 m E y en la latitud: 9963371.13 m S (Google Earth, 2016).

El valle de los Chillos por sus condiciones geográficas se encuentra conformado por dos grandes administraciones municipales. Las parroquias de Alangasí, Conocoto, Amaguaña, La Merced, Guangopolo y Pintag pertenecen a la administración municipal de la ciudad de Quito; por otra parte San Rafael, San Pedro de Taboada, Sangolquí,

Cotogchoa y Rumipamba conforman a la municipalidad de Rumiñahui (Rumiñahui, 2013).

Administraciones zonales divididas naturalmente por los caudales de los ríos Pita y Santa Clara como se muestra en la Figura 3.1.

El valle de los Chillos, conformado por 300.000 habitantes aproximadamente, se ubica en la cuenca hidrográfica de Guayllabamba, limitando el norte se encuentra el cerro Ilaló; al sur los volcanes Pasocha y Sincholagua; al este el volcán Antisana y al oeste la lomas de Puengasí que le separa de la ciudad de Quito (Aguilera, 2004).

En la Figura 3.1 se muestra la zona de estudio en que se realiza la disertación.

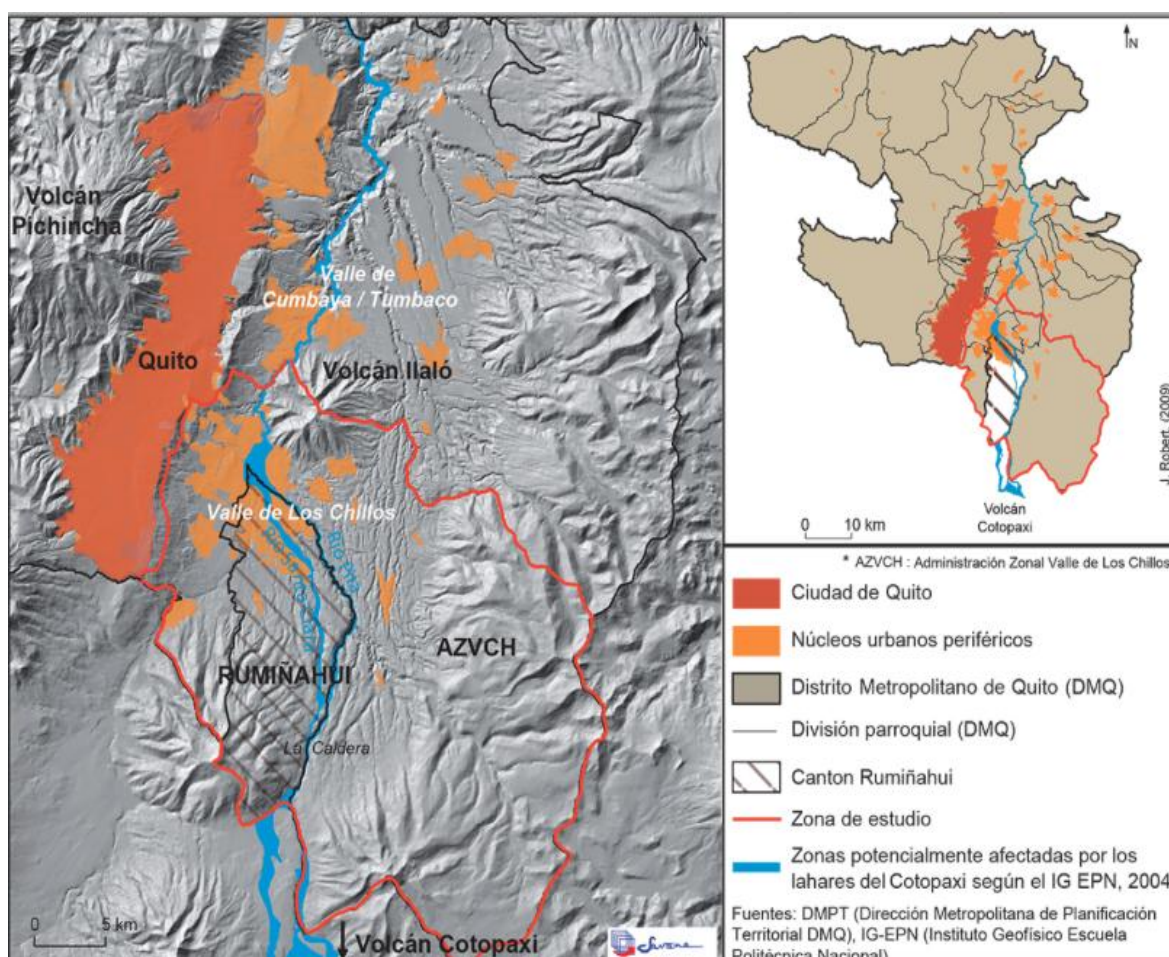


Figura 3.1. Zona de estudio en que se realiza la disertación, mapa del valle de Los Chillos.

Nota: En la derecha de la zona de estudio de la Figura 3.1 se muestra la administración zonal del Distrito Metropolitano de Quito AZVCH: conformada por las parroquias de Alangasí, Conocoto, Amaguaña, La Merced, Guangopolo y Pintag; en la izquierda del área de estudio, la administración municipal de Rumiñahui conformada por San Rafael, San Pedro de Taboada, Sangolquí, Cotogchoa y Rumipamba Fuente: (IGEPN I. G., 2013).

3.1.1 Delimitación Del Área De Estudio

El área de estudio se encuentra delimitada de acuerdo al mapa regional de los peligros potenciales del volcán Cotopaxi de la zona norte del IG- EPN del 2004, donde se observa la extensión de los lahares en el valle de Los Chillos. En la Figura 3.2 se muestra un esquema de la posible afectación por inundaciones de lahares en la zona de estudio (IGEPN I. G., 2013).

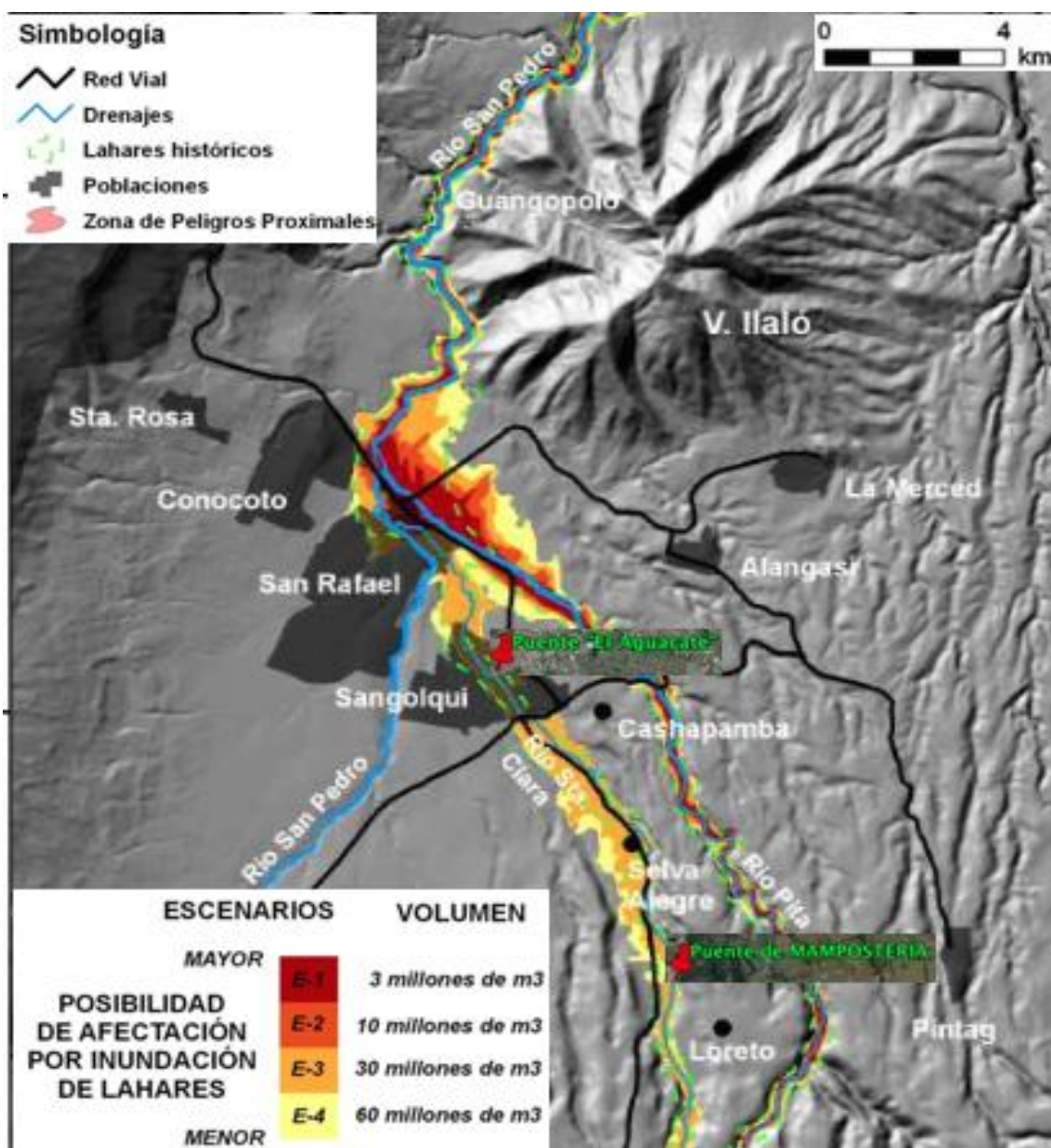


Figura 3.2. Mapa de posibles afectación por inundaciones de lahares en el tramo del río Santa Clara en estudio por el "Norte el puente El Aguacate y al Sur el puente de mampostería". La variación de colores representa los diferentes escenarios eruptivos de acuerdo al volumen esperado de posibles afectaciones por inundaciones de lahares. Fuente: (IGEPN I. G., 2013).

Limitar este fenómeno volcánico sirve de referencia para restringir el área de estudio para que únicamente englobe el cause del río Santa Clara que se vería afectado por los lahares, los mismos que incidirán en la evaluación técnica visual de los puentes.

Específicamente el estudio tiene mayor énfasis en el tramo del río Santa Clara comprendido por los cuatro puentes en estudio. Tramo delimitado en el norte por el puente de hormigón armado “El Aguacate” ubicado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero (coordenadas UTM. Longitud: 784241.01 m E. Latitud: 9963918.34 m S) y por el sur por el puente de mampostería ubicado en la calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas (coordenadas UTM. Longitud: 787074.53 m E . Latitud: 9960023.21 m S) como lo muestra la Figura 3.3 (Google Earth, 2016).

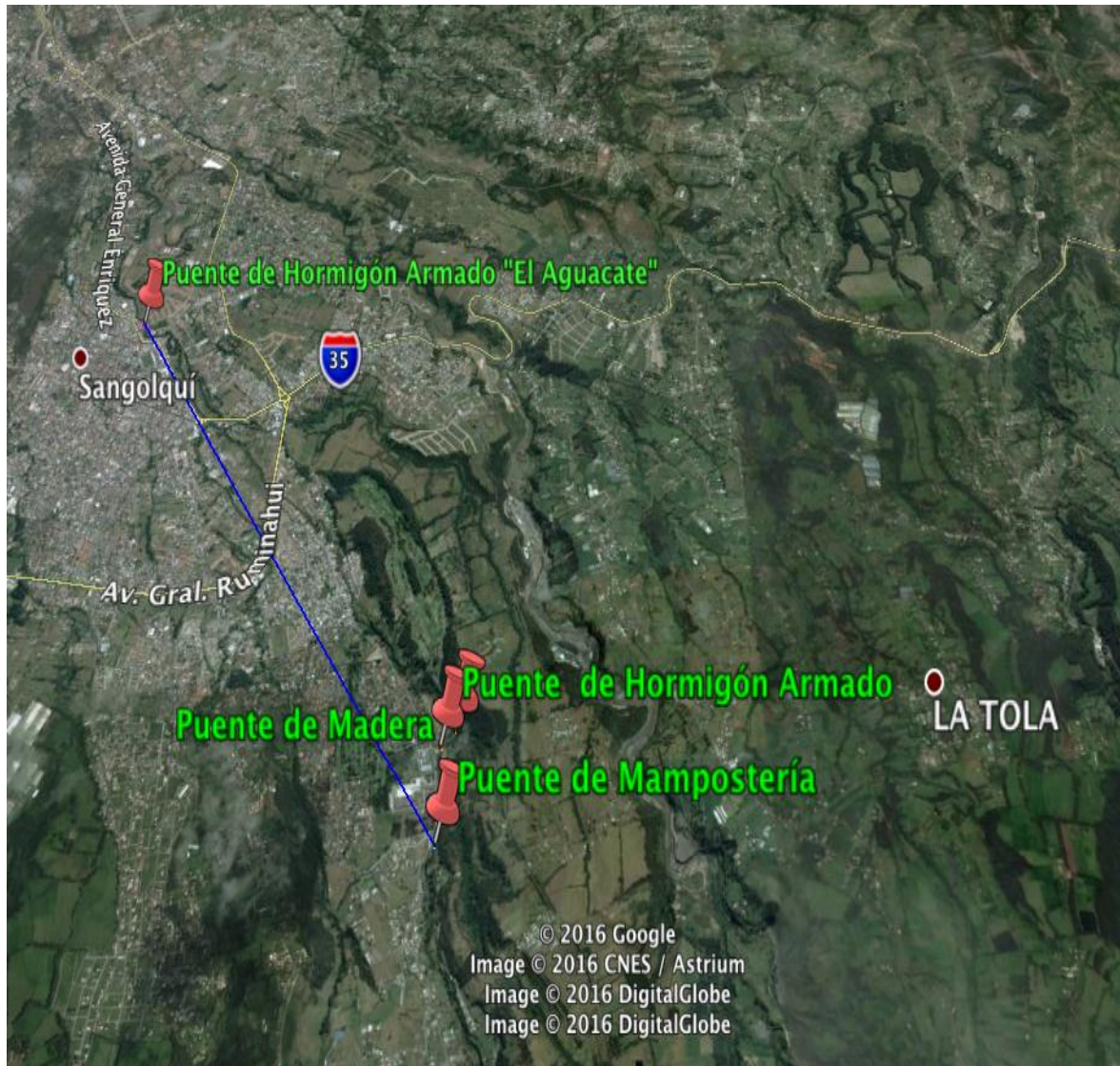


Figura 3.3. Tramo en estudio correspondiente al cause del río Santa Clara, delimitado al norte por el puente de hormigón armado “El Aguacate” y al sur por el puente de mampostería ubicado en las calle Santa Clara y Av. Juan De Salina. Fuente: (Google Earth, 2016).

3.1.2 Río Santa Clara

El río Santa Clara (antes denominado río Cunungyacu o río San Rafael) se encuentra ubicado dentro de la provincia de Pichincha y atravesando gran parte del cantón Rumiñahui. El río Santa Clara se sitúa a una altura de 2.496 msnm aproximadamente. Geográficamente se encuentra posicionado por el norte a una longitud de 782463.74 m E y a una latitud de 9966616.75 m S; por el sur a una longitud de 782463.74 m E y a una latitud de 9966616.75 m S según coordenadas UTM (Aguilera I. E., 1996) .

Los deshielos glaciares provenientes del volcán Cotopaxi realizan un largo recorrido para formar el río Santa Clara. En su formación, el deshielo glaciar proveniente del flanco norte forma el río “El Salto”; por otra parte, el deshielo glaciar del flanco nororiental (producto del tránsito de ocho pequeñas quebradas que fluyen hacia la llanura de Limpiopungo) dan origen al río “Pita” (IGEPN I. G., 2013).

El río Pita con su cauce en dirección aguas abajo llega a formar una cascada de aproximadamente 40m de altura, la cual al caer se junta con el río El Salto. La conformación de ambos ríos atraviesa un profundo y empinado valle con una pendiente de aproximadamente 5% hasta llegar a la zona denominada la Caldera, donde se divide el cauce formando los ríos Santa Clara y San Pedro. Ríos que ha su paso cruzan los poblados del valle de los Chillos, la parroquia de Sangolquí, Cumbayá y varias parroquias más que conforman la municipalidad de la ciudad de Quito (Aguilera I. E., 1996).

En la Figura 3.4 se muestra un esquema gráfico de la formación del río Santa Clara y de los sistemas fluviales que se alimentan del deshielo de los glaciares provenientes del volcán Cotopaxi.

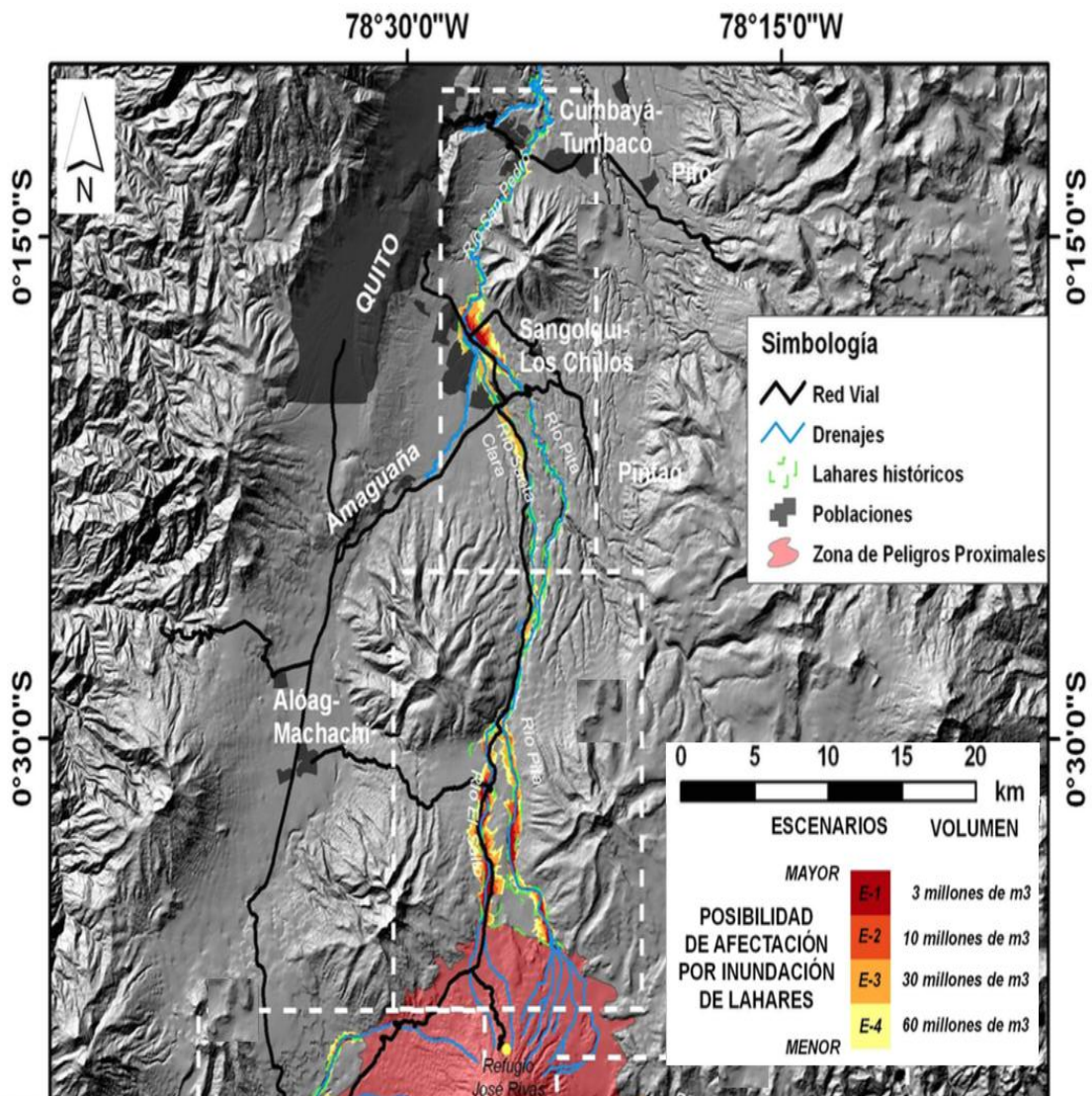


Figura 3.4. Esquema de la formación del río Santa Clara y de los sistemas fluviales que se alimentan del deshielo de los glaciares provenientes del volcán Cotopaxi. La variación de colores representa diferentes escenarios eruptivos de acuerdo al volumen esperado de posibles afectaciones por inundaciones de lahares Fuente: (IGEPN I. G., 2013).

3.1.2.1 Hidrología

En la presente subdivisión del capítulo correspondiente al área de estudio, se realiza el análisis hidráulico referente al río Santa Clara; tramo que se muestra en la Figura 3.3.

El objetivo del siguiente análisis hidráulico es determinar los caudales de crecidas a lo largo del tramo en estudio. Los datos de espejo de agua y caudales son considerados en época de verano. Se precisa estudiar al río Santa Clara aguas arriba respecto a su flujo.

Se determina inicialmente la aportación de agua lluvia para posteriormente evaluar la crecida máxima del río Santa Clara (Guzmán, 2013).

Para determinar la aportación de aguas lluvias en drenajes con un número mayor a 200 Has. en adelante se hace uso del Método denominado Racional, cuya fórmula se encuentra expresada en la Ecuación 3.1 (Guzmán, 2013).

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad (3.1)$$

En donde:

Q = caudal en m³/s.

C = coeficiente de escurrimiento.

A = área de drenaje en hectáreas.

I = intensidad de lluvias en mm/ hora.

Para el cálculo de intensidad de lluvias en mm/hora es necesario el desarrollo de la Ecuación 3.2 presentada en el estudio hidrológico realizado por el Gobierno Autónomo de Rumiñahui (Guzmán, 2013).

$$I = \frac{212 * T^{0,123}}{tc^{0,45}} \quad (3.2)$$

En donde:

I = intensidad de lluvias en mm/ hora.

T = Período de retorno en años.

tc = tiempo de concentración en minutos.

El tiempo de concentración (min) viene expresada en la Ecuación 3.3, donde se hace uso de la fórmula propuesta por Kirpich (Guzmán, 2013).

$$tc = 0,01947 \frac{L^{0,77}}{J^{0,385}} \quad (3.3)$$

En donde:

tc = tiempo de concentración en minutos.

L = longitud del cauce en metros.

Adicionalmente se multiplica el resultado de intensidad de lluvias en mm/hora por un factor de reducción como se muestra en la Tabla 11, teniendo en cuenta que el área de drenaje de la zona de estudio es igual a 1665 Has (Guzmán, 2013).

Tabla 11.
Factor de Reducción de acuerdo a su área de drenaje.

ÁREA DE DRENAJE (Has.)	FACTOR DE REDUCCIÓN
800-1800	0,88

Al desarrollar la Ecuación 4 se obtiene que $t_c = 118,15$ min, por lo tanto al insertar el resultado en la Ecuación 3 se tiene las intensidades de lluvias en mm/hora de acuerdo a cada período de retorno. Con los resultados de intensidad de lluvia previamente calculados se los reemplaza en la Ecuación 2 para finalmente conocer la aportación de agua lluvia (m^3/s). Cálculos que se muestra en la Tabla 12 siguiente.

Tabla 12.
Cálculo de intensidad de agua lluvia y caudales máximos del río Santa Clara.

DATOS			
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CANTIDADES	UNIDADES
A	Área De Drenaje	1665,87	Hectáreas
C	Coeficiente de Escurrimiento	0,5	-
t_c	Tiempo de concentración	118,15	Minutos

CÁLCULO DE INTENSIDAD Y CAUDALES		
T (Período de retorno)	I (Intensidad de lluvia)	$Q = (C \cdot I \cdot A) / 0,36$
Años	mm/hora	m^3/s
5	26,56	61,4476499
10	28,92	66,91630734
25	32,37	74,89944304
50	35,25	81,56526992

Fuente: (Guzmán, 2013)

Se concluye, con la aplicación del método racional para el cálculo de aportación de agua lluvia, que el cauce del río Santa Clara tendrá un caudal máximo en época de invierno igual a 61,45 m³/s para un período de retorno de 5 años y 81,57 m³/s para un período de retorno de 50 años (Guzmán, 2013).

Se sabe, debido al cálculo de aportación de agua lluvia, que la altura de calado correspondiente a cada sección del cauce del río Santa Clara que pasa por debajo de los cuatro puentes en análisis, deben transportar un caudal suficiente para cumplir con el caudal máximo solicitado de 81,57 m³/s para un período de retorno de 50 años, en la Tabla 13 se muestra las alturas de calados necesarias para cumplir con dicha solicitud. Según lo mencionado, el drenaje de agua lluvia en un período de retorno de 50 años se prevé no sea un problema mayor, ya que se conoce por medio de estudios realizados en campo, que la altura de calado máxima en el cauce del río Santa Clara puede llegar hasta la altura del gálibo de cada puente sumada el calado actual (medida desde el fondo del cauce hacia el espejo de agua) sin sufrir un desbordamiento del cauce dentro del tramo de estudio, cumpliendo todas las secciones en análisis con alturas de calado inferiores a la altura de calado máxima que se presenta en la Tabla 13 (Guzmán, 2013).

Tabla 13.

Dimensiones y propiedades hidráulicas de las diferentes secciones del cauce del río Santa Clara correspondientes a los cuatro puentes en análisis, datos esperados para un periodo de retorno de 50 años.

Puente	Ubicación	DIMENSIONES DEL CAUCE			PROPIEDADES HIDRÁULICAS			
		Ancho (m)	Alto-Calado (m)	Alto-Calado Máx. (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
El Aguacate	Calle Leopoldo Mercado	10,84	1,89	3,38	20,49	14,62	4,14	84,88
De Madera	Vía hacia los Cerros Golf Club	9,81	2,00	4,27	19,62	13,81	4,18	82,03
Enkador	Vía hacia Barrio San Luis	10,11	1,95	6,59	19,71	14,01	4,15	81,90
En forma de Arco	Calle Santa Clara	7,67	2,47	7,47	18,94	12,61	4,34	82,21

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

3.1.2.2 Socavación

Se define a la socavación como la extracción de material del lecho de un cauce, excavación profunda, causada por el accionar erosivo que posee el flujo de agua. Erosión que se produce de manera hídrica provocando la remoción de material del perfil que conforma el cauce, producto de un desequilibrio existente entre el material acarreado hacia una sección determinada y el material que es removido por el paso de agua en la misma sección (Amaya P. , 2013).

El estudio de socavación en la presente disertación es analizado con el objetivo de conocer la profundidad de remoción de material del lecho del río Santa Clara (socavación general) mediante la misma conocer la profundidad de remoción de material al pie de los estribos y en los extremos de la cimentación de los puentes en análisis. Con los resultados determinar si la cimentación de cada puente en estudio se encuentra a una profundidad adecuada con respecto al análisis de socavación. En el caso de presentarse mayor profundidad en la socavación que la profundidad de cimentación presente en los planos de diseño estructural, se considera a los puentes en estudio altamente vulnerables ante lahares y flujos de lodo dentro del análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica. Por lo tanto en la ficha de evaluación ante erupciones volcánicas por el paso de lahares y lodos será puntuada con el valor máximo de “100” (Córdoba, 2013).

El análisis de socavación general se lo considera al momento que se produzca un aumento de caudal que se estima se presente en un próximo paso de lahares provenientes del deshielo de glaciares consecuencia de una erupción volcánica del Cotopaxi, amenaza concurrente en la mayoría de los procesos eruptivos del Cotopaxi (D'Ercole R. , 2007).

Los estudios de socavación general está orientado hacia los puentes que se estima no tendrán afectación alguna ocasionada por la creciente del río Santa Clara al paso de lahares y flujos de lodo por efecto de una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Los puentes que se consideran sin afectaciones son los que poseen su gálibo más alto que el nivel de agua esperado a causa del paso de lahares, estudio realizado por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), datos que se muestra en la Tabla 26. Por otra parte, los puentes con gálibos menores al nivel de agua que se espera por el paso de lahares y flujos de lodo, ya se los considera con alta vulnerabilidad ante el paso de lahares, debido a que se espera que dichos puentes estén completamente inundados (Carrillo, 2013).

La profundidad de “socavación general” del cauce del río Santa Clara es calculada bajo criterios sustentados por Lischtván–Levediev. Para conocer la profundidad de socavación se considera al lecho del cauce del río Santa Clara como un suelo cohesivo y homogéneo en toda su conformación, de acuerdo a los estudios almacenados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. Por consiguiente a lo expresado, se obtiene la profundidad para socavación en suelos cohesivos la cual cumple la condición que menciona que la velocidad del flujo real o esperada del cauce debe ser igual a la velocidad erosiva ($V_r = V_e$). Al igualar las ecuaciones y despejar la variable correspondiente a la profundidad de socavación (H_s), se obtiene como resultado la Ecuación 3,4 expresada a continuación. Ecuación propuesta por la metodología en uso (Lischtván–Levediev) para el cálculo de la profundidad de “socavación general” (Mtc, 2014).

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0,60 \beta \mu \phi \gamma^{1,18}} \right]^{\frac{1}{1+x}} \quad (3.4)$$

En donde:

H_s = profundidad de socavación (m).

Q_d = caudal de diseño para un tiempo de retorno (m^3/s).

Q_L = caudal mínimo esperado por el paso de lahares (m^3/s).

B_e = ancho efectivo de la superficie de agua (m).

h = tirante antes de la erosión (m).

V_r = velocidad real o velocidad media de la sección [$(\alpha \cdot h^{5/3}) / (H_s)$] (m/s).

V_e = velocidad erosiva [$V_e = (0.60 \cdot \gamma^{1,18} \cdot \mu \cdot \beta \cdot \phi \cdot H_s^x)$] (m^3/s).

μ = coeficiente de contracción del cauce. Ver Tabla 14.

γ = peso específico del suelo del cauce (T/m^3).

ϕ = coeficiente por forma de transporte de sedimentos [$\phi = -0,54 + 1,5143\gamma$,
si $\gamma > 1,0 \text{ t/m}^3$].

x = exponente variable depende del peso específico del suelo del cauce
[$x = 0,892619 - 0,58073\gamma + 0,136275\gamma^2$] (coeficiente de reajuste 0,9985).

T_r = Período de retorno del gasto de diseño (años).

β = coeficiente que depende de la frecuencia del caudal de diseño

$$[\beta = 0,7929 + 0,0973 \log T_r].$$

A = área de la sección [$B_e \cdot h$] (m^2).

hm = profundidad media de la sección [$(A) / (B_e) \cdot h$] (m).

α = coeficiente de la sección del cauce [$(Q_d) / (hm^{5/3} \cdot B_e) \cdot h$].

d_s = profundidad de socavación medida desde el fondo del cauce (m).

Tabla 14.

Coeficiente de contracción " μ ", depende de la velocidad media en la sección y de la longitud entre estribos.

COEFICIENTE DE CONTRACCION, μ														
Velocidad media en la sección, en m / seg	Longitud libre entre dos estribos													
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200	
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1,00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1,50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	
2,00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	
2,50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	
3,00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	
3,50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	

Fuente: (Mtc, 2014).

El siguiente análisis de socavación general se lo realiza para un evento determinado que se espera se repita con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años, el cálculo se desarrolla dentro de un escenario hidráulico el cual hace uso de las ecuaciones propuestas por "Manning" para el cálculo de caudal de agua (m^3/s) y velocidad media de agua (m/s), ecuaciones aplicadas respectivamente para cada sección en análisis. Con el cálculo de estas dos variables se procede al cálculo con la metodología propuesta por Lischtván–Levediev previamente estudiada.

El estudio de la profundidad de "socavación general" es calculado en las diferentes secciones del cauce del río Santa Clara, secciones que precisamente se encuentran por debajo de los cuatro puentes en análisis, socavación general esperada producto de la remoción de material por causa del accionar erosivo que posee el flujo de agua del río Santa Clara.

Dentro del siguiente análisis de socavación general no se considera el evento volcánico producto del paso de lahares y flujos de lodo que se espera se suscite debido al deshielo de glaciares en una próxima erupción del Cotopaxi, evento que provocaría un considerable aumento de caudal. El motivo que dicho análisis no es

considerado en el presente capítulo se debe a que se lo ejecuta de forma independiente en el capítulo IV donde se estudia la vulnerabilidad ante erupciones volcánicas; sin embargo, si es considerada la posibilidad que se repita un evento determinado con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años según el cálculo de aportaciones de agua lluvia realizado previamente en el cual se utilizó el “método racional” (Guzmán, 2013).

El cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero, se muestra en la Tabla 15; por otra parte, el cálculo de socavación general considerando la posibilidad que se repita un evento determinado con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años se lo presenta en la Tabla 16. El esquema gráfico del perfil de socavación se muestra en la Figura 3.5.

Tabla 15.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

Cálculo de caudal y velocidad para un periodo de retorno de 50 años		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	10,84	m
Alto (Calado)=	1,89	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	20,49	m^2
Perímetro=	14,62	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	4,14	m/s
Caudal=	84,88	m^3/s

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

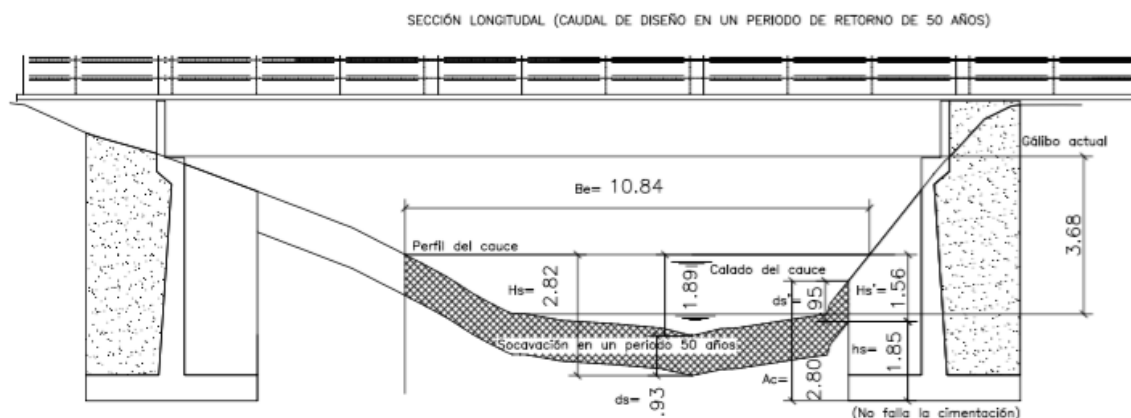
Tabla 16.

Cálculo de la socavación general (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado en un tiempo de retorno de 50 años)			
Variabes	Dato	Unidades	Observaciones
Qd =	84,88	m ³ /s	Caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años
Be =	10,84	m	Ancho efectivo de superficie de agua
h =	1,89	m	Altura de la sección del cauce
l =	20,00	m	Longitud entre estribos
μ =	0,94	-	Ver Tabla 14
Vm =	4,14	m/s	Qd/(h . Be)
γ =	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
x =	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
Tr =	50,00	años	Periodo de retorno
β =	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{LogTr}$
φ =	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
A =	20,49	m ²	Qd/Vm
hm=	1,89	m	A/Be
α =	2,71	-	Qd/(hm ^{5/3} . Be)
Resultados			
Ac=	2,80	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
Hs =	2,82	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
Hs' =	1,56	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
ds =	0,93	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
ds' =	0,95	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la socavación hacia la base del estribo (hs)	1,85	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 3.5. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

El cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas, se muestra en la Tabla 17; por otra parte, el cálculo de socavación general considerando la posibilidad que se repita un evento determinado con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años se lo presenta en la Tabla 18. El esquema gráfico del perfil de socavación se muestra en la Figura 3.6.

Tabla 17.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas

Cálculo de caudal y velocidad para un periodo de retorno de 50 años		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	9,81	m
Alto (Calado)=	2,00	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	19,62	m^2
Perímetro=	13,81	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	4,18	m/s
Caudal=	82,03	m^3/s

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

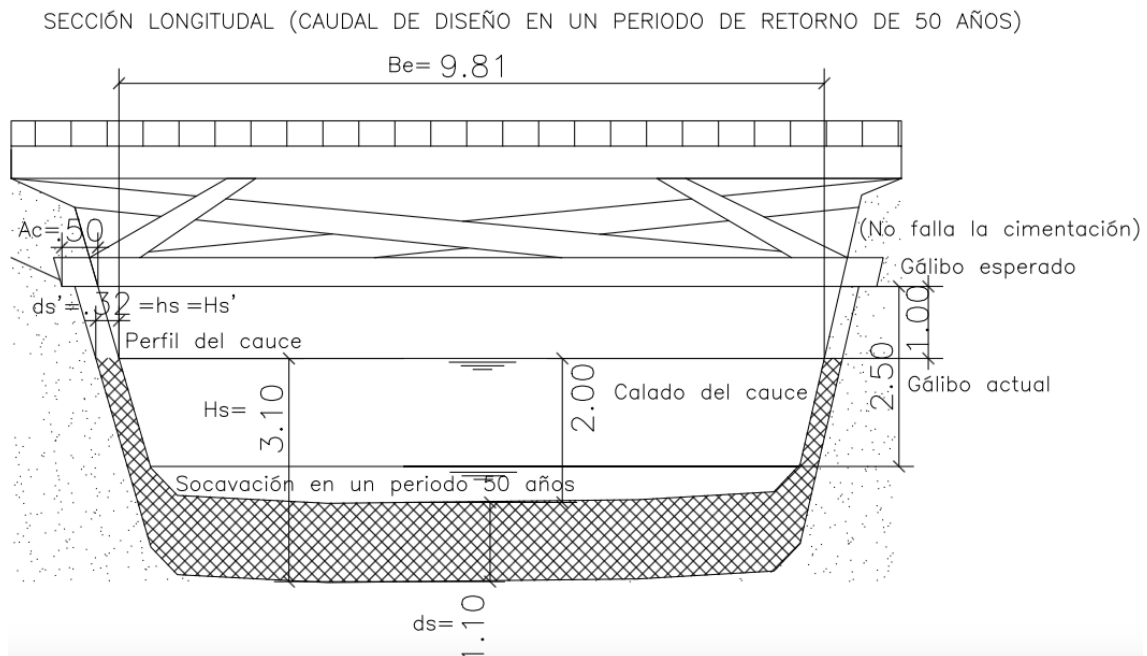
Tabla 18.

Cálculo de la socavación general (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado en un tiempo de retorno de 50 años)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	82,03	m ³ /s	Caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años
$B_e =$	9,81	m	Ancho efectivo de superficie de agua
$h =$	2,00	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	12,00	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,89	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	4,18	m/s	$Q_d/(h \cdot B_e)$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{Log}Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	19,62	m ²	Q_d/V_m
$h_m =$	2,00	m	A/B_e
$\alpha =$	2,63	-	$Q_d/(h_m^{5/3} \cdot B_e)$
Resultados			
$A_c =$	0,50	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el extremo de la cimentación hacia el perfil del cauce del río)
$H_s =$	3,10	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	0,32	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en el extremo de la cimentación)
$d_s =$	1,10	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$d_s' =$	0,32	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en el extremo de la cimentación)
Profundidad de la cimentación hacia la socavación (h_s)	0,00	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general (no existe contacto con el agua del cauce)

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 3.6. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

El cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado “Enkador”, vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan de Salinas, se muestra en la Tabla 19; por otra parte, el cálculo de socavación general considerando la posibilidad que se repita un evento determinado con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años se lo presenta en la Tabla 20. El esquema gráfico del perfil de socavación se muestra en la Figura 3.7.

Tabla 19.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño en un periodo de retorno de 50 años- m³/s) y velocidad media de agua (velocidad media en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado “Enkador”, vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan se Salinas.

Cálculo de caudal y velocidad para un periodo de retorno de 50 años		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	10,11	m
Alto (Calado)=	1,95	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	19,71	m ²
Perímetro=	14,01	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	4,15	m/s
Caudal=	81,90	m ³ /s

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Tabla 20.

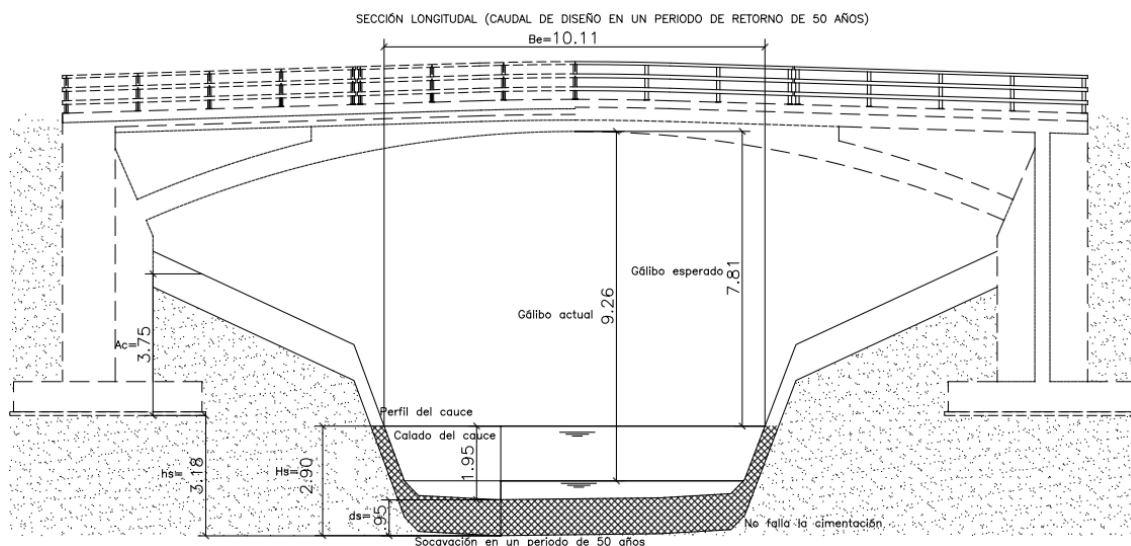
Cálculo de la socavación general (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado “Enkador”, vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan se Salinas.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado en un tiempo de retorno de 50 años)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
Qd =	81,90	m ³ /s	Caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años
Be =	10,11	m	Ancho efectivo de superficie de agua
h =	1,95	m	Altura de la sección del cauce
l =	24,80	m	Longitud entre estribos
μ =	0,94	-	Ver Tabla 14
Vm =	4,15	m/s	Qd/(h . Be)
γ =	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
x =	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073y + 0.136275y$
Tr =	50,00	años	Periodo de retorno
β =	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{LogTr}$
φ =	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143y$
A =	19,71	m ²	Qd/Vm

hm=	1,95	m	A/Be
$\alpha =$	2,66	-	$Qd/(hm^{5/3} \cdot Be)$
Resultados			
Ac=	3,75	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
Hs =	2,90	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
Hs' =	0,00	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
ds =	0,95	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
ds' =	0,00	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la base del estribo hacia la socavación (hs)	3,18	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 3.7. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado “Enkador”, vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan se Salinas.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

El cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas, se muestra en la Tabla 21; por otra parte, el cálculo de socavación general considerando la posibilidad que se repita un evento determinado con igual o mayor caudal durante un período de retorno de 50 años se lo presenta en la Tabla 22. El esquema gráfico del perfil de socavación se muestra en la Figura 3.8.

Tabla 21.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño en un periodo de retorno de 50 años- m^3/s) y velocidad media de agua (velocidad media en un periodo de retorno de 50 años- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de caudal y velocidad para un periodo de retorno de 50 años		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	7,67	m
Alto (Calado)=	2,47	m
Radio=	3,84	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	18,94	m^2
Perímetro=	12,61	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	4,34	m/s
Caudal=	82,21	m^3/s

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

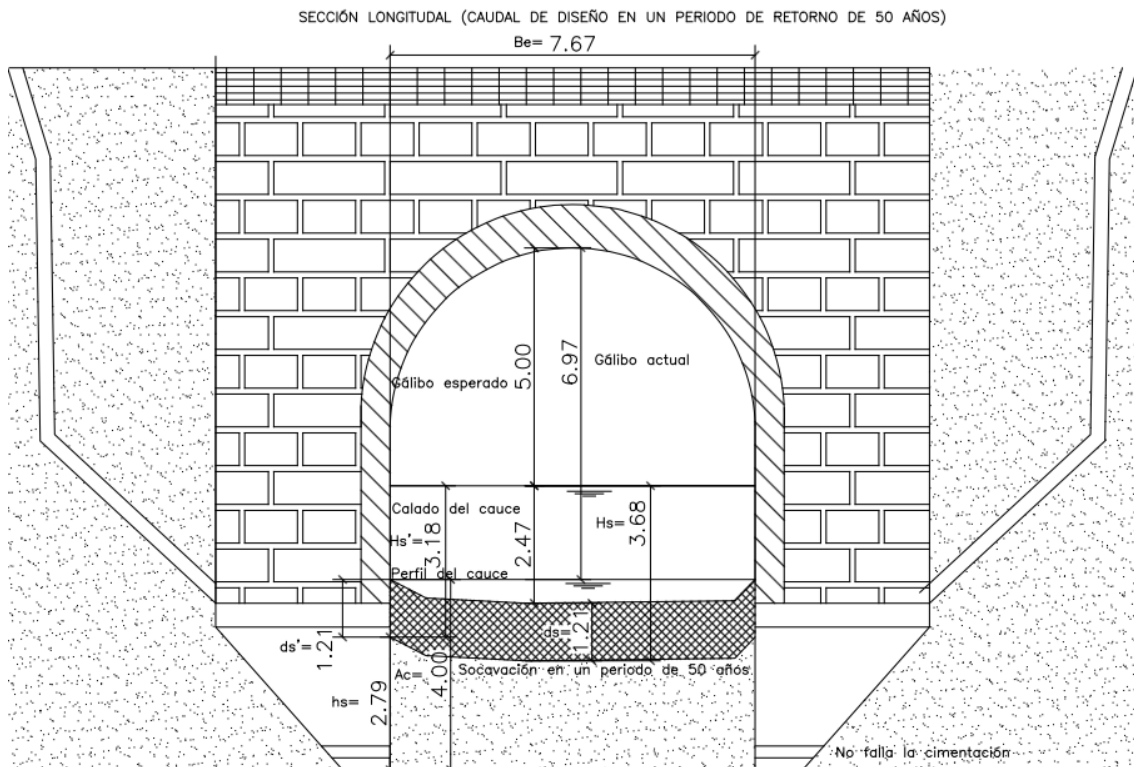
Tabla 22.

Cálculo de la socavación general (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado en un tiempo de retorno de 50 años)			
Variabes	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	82,21	m ³ /s	Caudal de diseño esperado en un periodo de retorno de 50 años
$B_e =$	7,67	m	Ancho efectivo de superficie de agua
$h =$	2,47	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	15,00	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,91	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	4,34	m/s	$Q_d/(h \cdot B_e)$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{Log}Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	18,94	m ²	Q_d/V_m
$h_m =$	2,47	m	A/B_e
$\alpha =$	2,37	-	$Q_d/(h_m^{5/3} \cdot B_e)$
Resultados			
$A_c =$	4,00	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
$H_s =$	3,68	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	3,18	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
$d_s =$	1,21	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$d_s' =$	1,21	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la socavación hacia la base del estribo (h_s)	2,79	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 3.8. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado en un periodo de retorno 50 años) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas.

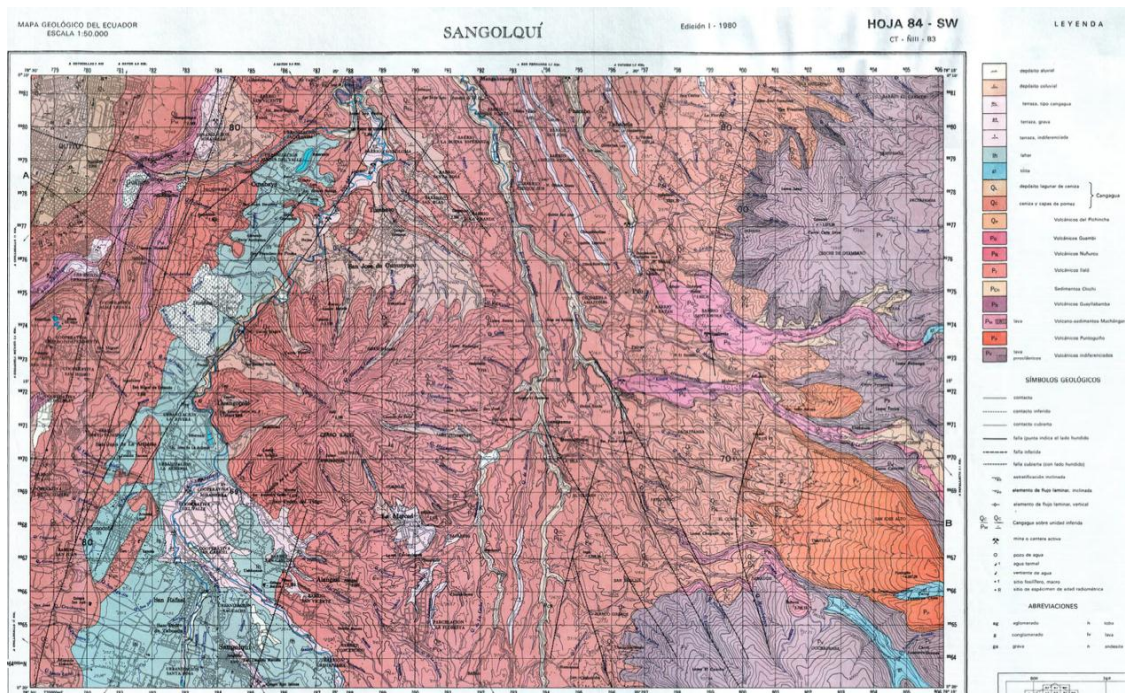


Fuente: (Martín Núñez, 2016).

3.1.3 Geología

El área de estudio posee formaciones geológicas provenientes desde el período cuaternario. Período que ha dejado formaciones geológicas con una profundidad de aproximadamente 1000.00 metros. Formaciones geológicas que se las puede apreciar en el mapa geológico de Sangolquí a escala 1 : 50 000 edición 1- 1980, hoja 84-SW (Espinosa, 2009).

En la Figura 3.9 se muestra un esquema a escala del mapa geológico de Sangolquí, para tenerlo como referencia por motivos didácticos.



El mapa geológico muestra el corte vertical desde la superficie hacia el interior de la Tierra, donde se aprecian las siguientes formaciones expuestas a continuación en orden cronológico:

Formación de Guayllabamba: posee una estratigrafía aluvial compuesta por bloques de forma redondeada; sin embargo, cuenta también con flujos consolidados de lodo, material producto de avalanchas, lava y material piroplástico. El espesor de esta formación varía entre 50 a 400 metros (Espinosa, 2009).

Formación de Chiche: se caracteriza por tener conglomerados con arena y areniscas gruesas. Usualmente material disperso a lo largo de la superficie; además, se pueden encontrar materiales como obsidiana, diatomitas y grauvaca (Espinosa, 2009).

Formación de Cangagua: conformado por tobas alteradas eólicamente por la caída de cenizas. Tobas de color café combinadas con piedra pómez y flujos de lodos. El espesor varía de acuerdo a la ubicación del material; valles con un espesor de 50m y en las partes más altas de 20 a 30 m (Espinosa, 2009).

Depósitos Laháricos: son producto de la actividad volcánica del Cotopaxi, material comprendido por grandes bloques de canto rodados. Material que se lo puede encontrar erosionado o cubierto por formaciones de cangagua en espesores que varían entre 1,0 a 40,0 m (Espinosa, 2009).

Terrazas indiferenciadas: grandes depósitos de grava y arena bien clasificada. Bloques de 2,0 a 3,0 m de diámetro que se alojan en quebradas, también se las puede encontrar combinado con fragmentos de lava. Espesor que oscila entre 14,0 a 100,0 m.

Depósitos aluviales: originarios de las redes de drenaje del Cotopaxi, comprendidos de cantos y aglomerados de origen volcánico (Espinosa, 2009).

3.1.4 Suelos

Debido al estudio geológico realizado en la subdivisión 3.1.3, se conoce que el área de estudio se encuentra conformada por distintos tipos de formaciones geológicas y en consecuencia distintos tipos de suelos. Por este motivo se precisa un estudio de suelos que permita conocer la composición y profundidad de los diferentes estratos que lo conforman. El conocimiento del tipo de estrato y de profundidad es de gran ayuda para saber si el tipo de cimentación actual de los puentes es acorde a los requerimientos del estrato. Dato de gran utilidad para la aplicación de la ficha de vulnerabilidad sísmica que se muestra en la Tabla 7.

Para la ejecución de este estudio se ha realizado una perforación P-1 (margen derecho) aplicando el ensayo de SPT (Standard Penetration Test) para determinar la capacidad portante del suelo a una profundidad de 5,00 m; Además, mediante el uso de una calicata C-1 (margen izquierdo) se realizó el log. de perforación igualmente a una profundidad de 5,00 m Estudio realizado desde la cota 2604,77 msnm hasta llegar a la cota 2599,77 msnm como se muestra en la Tabla 23 (Ecosoil, 2009).

El estudio fue realizado por Ecosoil Cía. Ltda., solicitado por el Ing. Rodrigo Salguero, ensayo realizado previamente a la construcción del puente “Enkador” sobre el río Santa Clara (Informes obtenidos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui).

También se realizó por parte de Ecosoil Cía. Ltda. un “trabajo de prospección geofísica en campo con la ejecución de un perfil sísmico para la percepción de ondas Vp. de 60.0 m de longitud, ubicados de acuerdo a las condiciones físicas del terreno” (Ecosoil, 2009).

Para el trabajo se utilizó geófonos verticales, realizando cuatro detonaciones verticales. La primera detonación fue larga directa a 30,00 m, en los extremos de la base a 2,5 m de diferencia otras dos detonaciones y una última detonación intermedia (Ecosoil, 2009).

Dicho estudio de la Tabla 23 es el cual se considera para el análisis estratigráfico de la corteza superficial de la zona delimitada en la Figura 3.3. La razón por la que se toma solamente una perforación en el área de estudio se debe a que los puentes cuentan con características geológicas similares, como se muestra en el mapa geológico de la Figura 3.9; además, por su cercanía en la que se ubican los puentes y por compartir el mismo cauce del río Santa Clara.

La estratigrafía obtenida con la perforación P-1, aplicando el ensayo de SPT, muestra que desde una profundidad de 0,5 -1,5 m se detecta una capa de suelo compuesto de basura y escombros; además, con capacidad baja, plasticidad media y muy húmedo (Ecosoil, 2009).

Desde 1,5 – 3,0 m se trata de un relleno compuesto por suelo en forma predominante, cascote, fragmentos de roca. Suelo que posee una plasticidad media y es muy húmedo (Ecosoil, 2009).

Con una profundidad de 3,0 a 3,5 m se observa ya la presencia de una mezcla entre material de relleno y conglomerado. Material compuesto por gravas, arenas de matriz arcillosa de plasticidad media. Suelo muy húmedo (Ecosoil, 2009).

En la profundidad situada a 3,5 – 5,0 se encuentra conglomerado de forma sub redondeada de matriz arcillosa, con plasticidad media. Material compuesto también por grandes bloques de hasta 20 cm. Bloques distribuidos en 5% de diámetro, 20% en boleos, 60% en gravas y en un 15% de finos (Ecosoil, 2009).

Tabla 23.

Análisis estratigráfico de la corteza superficial del valle de los Chillos. Penetración realizada en el sector de la fábrica “Enkador”.

SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS

LOG DE PERFORACIÓN

ENSAYO - DISEÑO - CONTROL									
PROYECTO : PUENTE ENKADOR SOBRE EL RÍO SANTA CLARA					FECHA : 25-31/07/2009				
UBICACIÓN : SANGOLQUÍ - SECTOR FÁBRICA ENKADOR					PERFORACIÓN N° : P - 1 MARGEN IZQUIERDA				
					SOLICITADO : ING. RODRIGO SALGUERO				
COTA m.s.n.m.	PROFUNDIDAD (m.)	FACTORN (S.P.T.)	HUMEDAD %	PLASTICIDAD	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	ESTRATIGRAFÍA	PERFIL DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	
COTA 2604,77 m.s.n.m.								0	10
2604,27	0,5				OL	De 0.0 a 1.0 m., relleno compuesto por escombros, basura y suelo, de compacidad baja, plasticidad media. Muy Húmedo.			
2603,77	1,0				OL				
2603,27	1,5	4	28,6	15,3	OL	De 1.00 a 3,00 m., relleno compuesto por suelo en forma predominante, cascote, fragmentos de roca de plasticidad media. Muy Húmedo.			
2602,77	2,0	4	31,6	13,1	OL				
2602,27	2,5	5	29,7	12,6	OL				
2601,77	3,0	4	39,5	15,6	OL	De 3.00 a 3.50 m., contacto entre relleno y conglomerado, compuesto por grava, arena de matriz arcillosa de plasticidad media. Muy Húmedo			
2601,27	3,5	5	31,9	18,2	GC				
2600,77	4,0	20	17,0	16,0	GC	De 3.50 a 5.0 m., conglomerado de forma sub redondeado de matriz arcilloso, de plasticidad media, compuesto por bloques de hasta 20,0 cm., de diámetro en un 5%, boleos en un 20%, grava en un 60% y finos en un 15%.			
2600,27	4,5	R			GC				
2599,77	5,0	R			GC				

Fuente: (Ecosoil, 2009)

3.1.5 Zona Sísmica

En el área de estudio delimitada en la Figura 3.3, se determina la zona sísmica con el uso del valor del factor Z.

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción, el valor del factor Z corresponde a “la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad” (NEC, 2015).

El valor del factor Z para la presente disertación corresponde al perteneciente valor de la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha por ser la ubicación del área de estudio. Factor que se obtiene de la Tabla 24 de “Poblaciones ecuatorianas y valor de factor Z” presente en la norma NEC (NEC, 2015).

Tabla 24.
Poblaciones ecuatorianas y valor de factor Z

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
SANGOLQUI	SANGOLQUI	RUMIÑAHUI	PICHINCHA	0.40

Fuente: (NEC, 2015)

Con el valor Z igual a 0,40 se ubica el área de estudio en la zona sísmica “V”. Zona que se caracteriza por tener alta peligrosidad sísmica de acuerdo a la Tabla 25 obtenida de la norma NEC (NEC, 2015).

Tabla 25.
Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (NEC, 2015)

Por lo tanto la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño a considerar para el área de estudio de la presente disertación es de 0,4g con alta peligrosidad sísmica (NEC, 2015).

3.2 Amenazas En El Área De Estudio

En este subcapítulo se describen las amenazas que esta sometida el área de estudio, valle de Los Chillos, de acuerdo a su delimitación geográfica.

Amenazas provocadas específicamente al suscitarse eventos sísmicos y erupciones volcánicas. Condiciones peligrosas que presentan potenciales afectaciones hacia las estructuras de los cuatro puentes en evaluación que atraviesan el río Santa Clara.

También en este subcapítulo se determina cuales han sido los eventos sísmicos y volcánicos más influyentes a lo largo de la historia, profundizando en su estudio cada uno de los mismos.

3.2.1 Amenazas Volcánicas En El Área De Estudio

El valle de Los Chillos se caracteriza por sus imponentes elevaciones montañosas, volcanes y nevados. Valle delimitado hacia el norte por el volcán inactivo “Ilaló” (3161 msnm); al sur por el volcán “Pasochoa” (4199 msnm); por el este el volcán “Antisana” (5758 msnm) y hacia el oeste se ubica la “Loma de Puengasí” (Valle, 2015).

En la Figura 3.10 se muestra un modelo 3D de la morfología que rodea al valle de los Chillos.

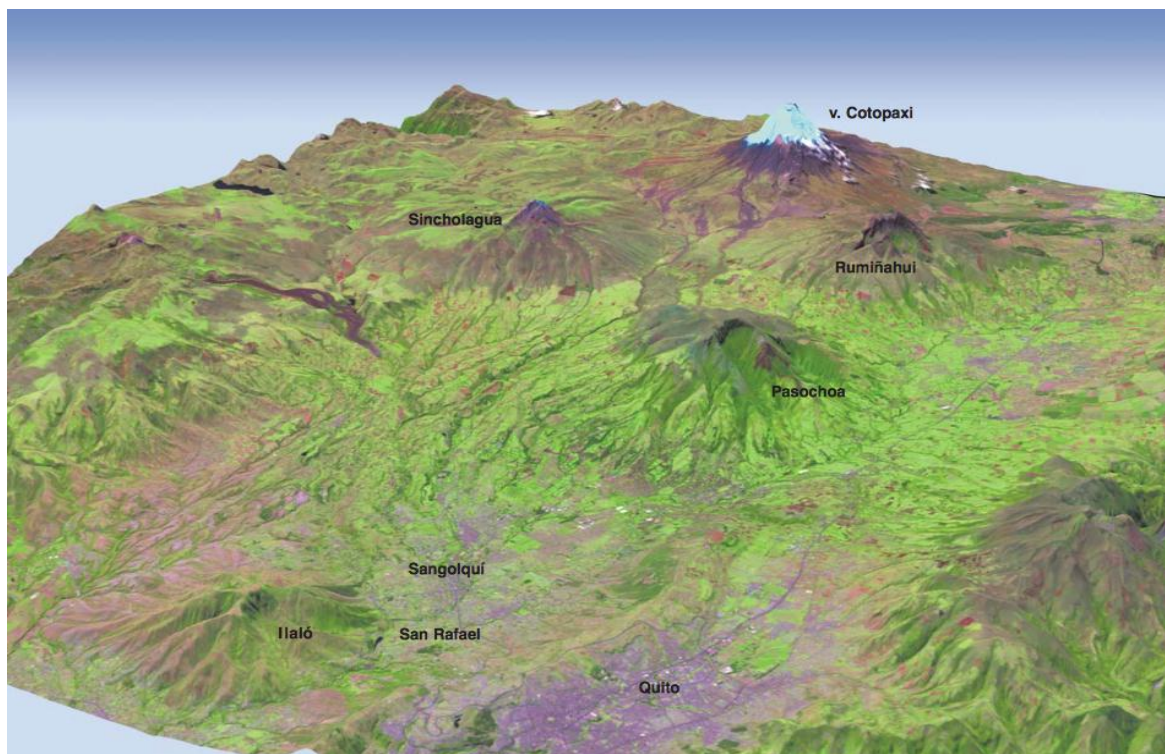


Figura 3.10. Modelo 3D de la morfología que rodea al valle de los Chillos. Fuente: (Aguilera, 2004).

En la Figura 3.11 se muestra el mapa de la clasificación de volcanes (que delimitan al valle de Los Chillos) de acuerdo a su actividad eruptiva (IGEPN I. G., 2015).

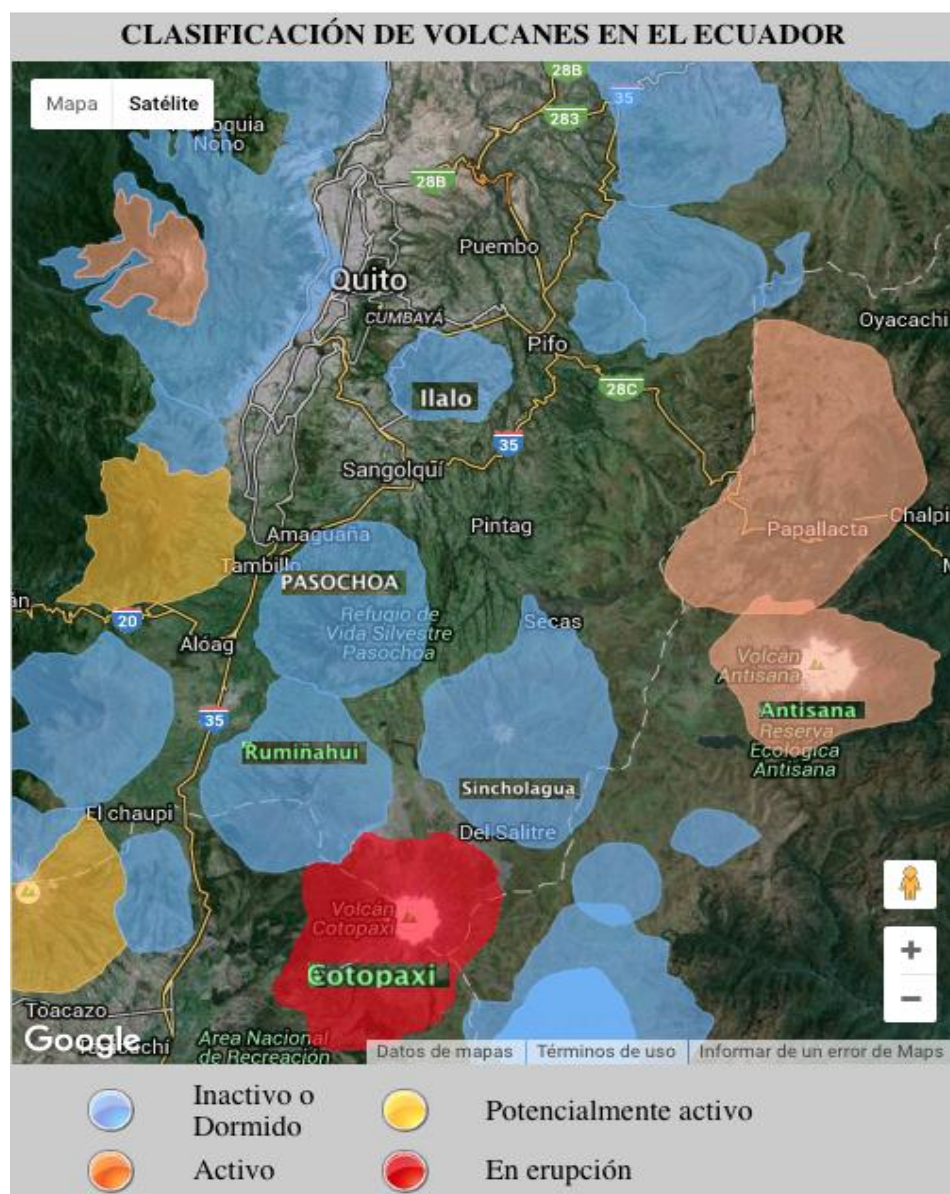


Figura 3.11. Mapa de la clasificación de volcanes (que delimitan al valle de Los Chillos) de acuerdo a su actividad eruptiva. La variación de colores representan: Inactivo o dormido=>última erupción hace más de 10.000 años; Potencialmente activo=>última erupción hace menos de 10.000 años; Activo=>última erupción hace más de 500 años; En erupción=>con actividad eruptiva en 2011 (válido para 2016). Fuente: (IGEPN I. G., 2015).

3.2.1.1 Volcán Ilaló

El Ilaló es un volcán que conforma el callejón interandino del Ecuador. Situado al este de la ciudad de Quito. Con referencia al área de estudio de la Figura 3.3 se ubica a una distancia lineal de 8 km del puente de hormigón armado (El Aguacate) localizado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. Constituye la división natural entre valles, localizando al valle de Los Chillos al sur y el valle de Tumbaco al norte del volcán (Ilaló, 2010).

El volcán Ilaló altamente erosionado y actualmente inactivo (dormido) se sitúa en la cuenca del río San Pablo, afluente del río Guayllabamba. A causa de la erosión producida por el agua y el viento, posee una pequeña caldera hacia el occidente. Desde la caldera se pueden apreciar restos de lavas volcánicas endurecidas por el pasar del tiempo. En el sur del volcán se forma un pequeño cono de lava poco densa y porosa. Parcialmente lo rodea suelo de cangahua mezclado con cenizas de otros volcanes desplazadas por vientos (Volcanes, 2012).

El volcán Ilaló no presenta evidencia de actividad volcánica alguna, siendo registrada su última erupción hace 1,6 millones de años; sin embargo existen fuentes termales de poco calor como los balnearios de El Tingo, la Merced, Ilaló, Cununyacu, entre otros (Curipoma, 2015).

Actualmente las poblaciones que se encuentran en las faldas del volcán Ilaló son las parroquias de “La Merced” y “Alangasí” en el valle de Los Chillos. Al norte del volcán se encuentran también diferentes parroquias del Distrito Metropolitano de Quito en el sector del Valle de Tumbaco (Curipoma, 2015) .

En la Figura 3.12 se muestra el cerro Ilaló y su ubicación geográfica en la esquina superior derecha de la imagen situado desde la zona del valle de Los Chillos.



Figura 3.12. Cerro Ilaló y su ubicación geográfica en la esquina superior derecha de la imagen. Fuente: (Google Earth, 2016).

3.2.1.2 Volcán Pasochoa

El Pasochoa es uno de los volcanes inactivos (dormidos), que en conjunto con el volcán Ilaló y Rumiñahui se ubican a lo largo de la falla central de depresión interandina. Con mayor precisión el volcán Pasochoa se localiza al sureste de la cuenca hidrográfica del río Guayllabamba. Con referencia a la zona de estudio de la Figura 3.3 se ubica a una distancia lineal de 12,5 km del puente de hormigón armado (El Aguacate) localizado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero. Volcán localizado en la parroquia de Uyumbicho, cantón Mejía perteneciente a la provincia de Pichincha (Pasochoa, 2012).

Al volcán Pasochoa se lo considera como una caldera volcánica extinta, debido a la forma de cráter que posee en su cima. En la Figura 3.13 se muestra la cima del volcán Pasochoa y su ubicación geográfica en la esquina superior derecha de la imagen (Turismo, 2013).

Durante el pasar de los años se ha formado en su cumbre bosques cubiertos de abundante vegetación y conformando actualmente parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, con una extensión de 500 hectáreas de diversa variedad de flora y fauna (Natura, 2014).



Figura 3.13. Cima del volcán Pasochoa y su ubicación geográfica en la esquina superior derecha de la imagen. Fuente: (Google Earth, 2016)

3.2.1.3 Volcán Antisana

El volcán Antisana es un gran glaciar situado al margen oriental de la Cordillera Real del Ecuador, donde la Zona Volcánica Norte se ensancha (IG-EPN, 2015).

El volcán Antisana se localiza entre las provincias de Napo y Pichincha, se encuentra rodeado de los volcanes de Sumaco, Reventador, Cayambe, Chacana y Cotopaxi. (IG-EPN, 2015). Se ubica a una distancia lineal de 38 km con referencia al área de estudio de la Figura 3.3, distancia medida desde el puente de hormigón armado (El Aguacate) localizado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero (Google Earth, 2016).

El volcán Antisana es un volcán actualmente activo como lo muestra la Figura 3.11 de “Clasificación de volcanes en el Ecuador”, estudio realizado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Al ser el Antisana uno de los volcanes con más altos picos en el Ecuador, alcanzando una altura de 5758 msnm (como se muestra en la Figura 3.14.) y con un diámetro de elongación de 13 km en sentido este-oeste; consta de dos formaciones volcánicas generadas en el mismo macizo, denominadas Antisana I y Antisana II (IG-EPN, 2015).

El Antisana I es una formación volcánica más vieja y erosionada por los glaciares, se ubica en la parte sureste del macizo y todavía cubre dos terceras partes del volcán; sin embargo, el Antisana II, actual volcán Antisana, es un cono más joven y potencialmente activo, conforma el flanco noroeste del macizo y está compuesto de ríos de lava solidificada que se aprecian desde la cumbre (IG-EPN, 2015).

El Antisana II experimentó una actividad regular hace más de 14.000 años, con 40 erupciones entre pequeñas y moderadas registradas a lo largo de este período según lo menciona Hall (2012). Hace aproximadamente 1.000 años esta actividad regular se habría detenido o al menos no se tiene registro geológico alguno de actividad actual (IG-EPN, 2015).

Debido a la limitada información y lejana ubicación del volcán Antisana, existen escasos relatos detallando las posibles erupciones suscitadas. Se presume que han ocurrido cuatro erupciones en los años de 1590-1600, 1760, 1773 y 1802 (IG-EPN, 2015).

Se sabe que las erupciones de 1760 y 1773 que se produjeron flujos de lava constantes; sin embargo actualmente no se asocian estos hechos con el volcán Antisana y sí a la Caldera de Chacana (IG-EPN, 2015)..

Se presume que en 1802 el volcán Antisana presentó una potente erupción donde se produjeron flujos de lava volcánica, caída de cenizas y formación de humaredas; sin

embargo, estos relatos correspondientes a Alexander von Humboldt aún no han sido corroborados por otro estudio (IGEPN I. G., 2015).

El Antisana en la actualidad no presenta ningún tipo de actividad volcánica, a pesar de que montañistas aseguran percibir el olor a azufre en las partes altas del macizo. Por otra parte, su glaciar si ha sufrido una pérdida circunstancial de al menos 36% de masa original en los últimos 50 años (IG-EPN, 2015).



Figura 3.14. Vista aérea de la cima desde el oriente del volcán Antisana y su ubicación geográfica en la esquina superior derecha de la imagen. Fuente: (IG-EPN, 2015).

De acuerdo a su clasificación eruptiva de la Figura 3.11, los volcanes que delimitan el valle de Los Chillos no presentan estado de erupción actualmente; sin embargo, el volcán Cotopaxi si lo hace, debido a esta clasificación se torna la principal amenaza volcánica a considerar.

3.2.1.4 Amenaza Del Volcán Cotopaxi

El volcán Cotopaxi con una altitud de 5.897 msnm, se encuentra localizado sobre la Cordillera Real Oriental de los Andes del Ecuador. A una distancia lineal de 38 km con referencia del puente de hormigón armado (El Aguacate) localizado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero (en coordenadas UTM a una Longitud: 785250.42 m E y a una Latitud: 9924339.75 m S) (IGEPN I. G., 2015).

El volcán Cotopaxi presenta una forma regular cónica, que se debe a la acumulación de material eruptivo. Esta aglomeración de material se suscita por las constantes

emisiones de flujos piroclásticos y de lavas ardientes a lo largo de su historia. Actualmente es considerado uno de los volcanes más altos en el mundo en actividad (Ambiente, 2015).

El volcán Cotopaxi según reporta el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional es considerado el volcán con mayor vigilancia en el Ecuador. La supervisión diaria se debe a la “frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve, su cobertura glaciar y por la cantidad de poblaciones potencialmente expuestas a sus amenazas” palabras dichas por el mismo (IGEPN I. G., 2015).

Se registran en la historia eruptiva del volcán Cotopaxi cinco importantes períodos, los mismos que se produjeron entre los años: 1532 - 1534, 1742 - 1744, 1766 - 1768, 1853 -1854 y 1877 – 1880 (Hall & Mothes, 2007).

Dentro de los cinco períodos que se consideran relevantes se precisa el estudio del período volcánico comprendido entre los años 1877 - 1880, por ser el último registrado y por contar con información obtenida de relatos históricos que narran a detalle los hechos suscitados. Se considera solamente para fines de estudio tan solo un período, por el motivo que en todos los períodos hubo similitudes en sus fenómenos como la presencia de flujos piroclásticos, caída de cenizas, derrames de lava, gases volcánicos, sismos volcánicos y lahares destructivos (Hall & Mothes, 2007).

El inicio del período eruptivo se registra desde las primeras semanas del mes de enero de 1877, donde se produjeron constantes caídas de ceniza. Emanaciones volcánicas que perduraron hasta el mes de junio donde ocurrió la más importante erupción volcánica de la historia del Cotopaxi. Según los relatos provenientes de los habitantes de la zona, datos recogidos por Teodoro Wolf (1878), precisan que el día 26 de junio de 1877 una fuerte explosión fue la que provocó la formación de una gran humareda y caída de cenizas. Inmediatamente alrededor del cráter inició el descenso de flujos piroplásticos y lava ardiente. Producto de la fuerte erupción, el glaciar comenzó a derretirse formando flujos de escombros y lodos denominados lahares, los cuales a su paso inundaron varios poblados entre ellos el valle de los Chillos (Sodiro & Wolf, 1877). En los relatos históricos se describe a los lahares como:

Luis Sodiro (1877)

Inmensos raudales de agua con enormes masas de hielo, lodo, piedras y peñascos que con ímpetu inconcebible se precipitaban del cerro. A poco rato brotaban ya de las grandes quebradas del austro-occidental arrancando árboles, destruyendo casas y arrebatando consigo ganados, personas y cuanto encontraban en su curso.

El valle de los Chillos, según los datos brindados por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), se encuentra amenazado por la posible presencia de lahares provenientes del deshielo de glaciares al momento de desatarse una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Lahares que modificarían el tamaño del cauce de los ríos Pita y Santa Clara debido al aumento de su caudal. Arrastrando con el flujo una mezcla densa de materiales volcánicos, piedras, arenas, vegetación u otros objetos que puedan ser acarreados hacia los sitios con los que limita (SNGR, 2011).

Según estudios realizados por la Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas (ESPE), estudios que hacen uso del programa computacional Hec-Ras especialista en análisis hidráulico. Se determina las alturas y desbordamientos que están sujetos los poblados ubicados a lo largo del río Santa Clara. En la siguiente Tabla 26 se muestra la afectación de los lahares en la zona de estudio delimitada en la Figura 3.3 (Carrillo, 2013).

Tabla 26.
Afectación de los lahares en la zona de estudio.

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10 ⁶ m ³	CAUDAL 10 ³ m ³ /s		Coef. Manning	MÁX. ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
				30%	40%		30%	40%		
El Aguacate	Sangolquí	River Mall	44,1	14,7	19,6	0,09	3,24	3,6	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río	Parcialmente Inundado
De Madera	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
Enkador	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
De Mampostería	Pintag	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0,09	20	25	-	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2013).

3.1.2 Amenazas Sísmicas En El Área De Estudio.

El valle de los Chillos ha sido históricamente amenazado por eventos sísmicos, fenómenos adjudicados a la estructura geológica denominada falla o sistema de fallas de Quito. Estructura geológica que se prolonga desde el Este de la ciudad capital del Ecuador, recorriendo las pendientes que atraviesan el valle de Tumbaco y el valle de los Chillos. Elevaciones que marcan el borde oriental frente a las localidades de Amaguaña, Puengasí, Iumbisí, El Batán, La Bota y Bellavista continuando hacia el extremo Norte localizado en el sector de Calderón y Catequilla, se muestra su ubicación en el mapa de fallas geológicas activas de la Figura 3.15 (Yepes, 2014) (Yepes, 2014).

Considerado el valle de los Chillos una ramificación oriental del sistema de fallas de Quito desde el fuerte temblor producido el 9 de agosto de 1938. Temblor de magnitud 7.1, que afectó a gran parte del valle de los Chillos en especial a los poblados de Alangasí, El Tingo y Sangolquí (Yepes, 2014).

Lo ocurrido en los temblores históricos del valle de los Chillos se debe al sistema de fallas de Quito. Sistema de fallas conformado por dos grandes bloques, los cuales se encuentran sometidos a una gran fuerza de compresión tectónica. Cuando otra fuerza transmitida desde el occidente del continente Americano, empuja una gran masa denominada bloque de Quito hacia otra (bloque del valle) la fuerte compresión tectónica entre bloques aumenta, provocado el desprendimiento de energía dando lugar al fenómeno sísmico. La acumulación de movimientos tectónicos a lo largo de la historia geológica, ha generado un levantamiento de 400 m del bloque de Quito en referencia al nivel del bloque del valle (Yepes, 2014).

Dentro de los terremotos que mayormente afectaron al Ecuador se encuentran los producidos el 5 de marzo de 1987. Dos terremotos de gran magnitud, el primero con una magnitud de 6.2 y el segundo de 6.9. El epicentro fue registrado junto al volcán Reventador entre las provincias de Napo y Sucumbíos. Las zonas afectadas fueron las pertenecientes a Otavalo, Ibarra, Baeza y Cayambe. El segundo movimiento telúrico fue sentido alrededor de 93.000 km². donde se registraron afectaciones en la zona del valle de los Chillos. La mayor cantidad de daños no fueron producidos directamente por el movimiento telúrico; sin embargo, los derrumbes y deslaves fueron los principales causantes del desastre (Albornoz, 2013).

Al desprenderse grandes bloques de tierra y con el acarreo de escombros que flotaban por los ríos, se formaron grandes represas que impidieron el libre flujo. Represas que al desbordarse por la fuerza del caudal, provocaron el aumento del nivel de los sistemas de drenaje. Ríos que inundaron cada uno de los poblados a su paso (Albornoz, 2013).

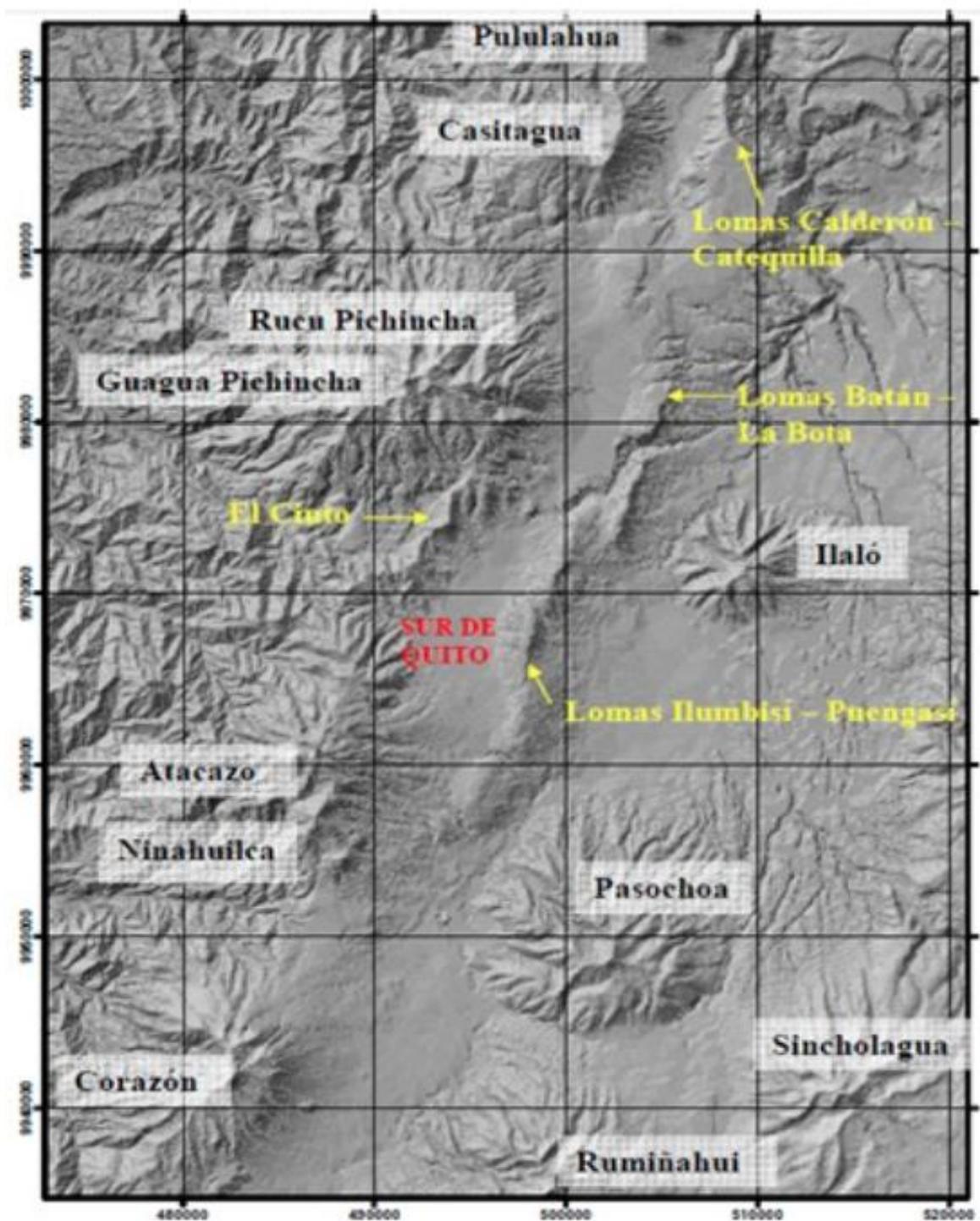


Figura 3.15. Mapa de fallas geológicas activas de la ciudad de Quito. Fuente: Base topográfica de IGM-EMAAP-Q)

El último sismo de gran magnitud en el Ecuador fue registrado el día sábado 16 de abril de 2016 a las 18:58 horas, tiempo local de Quito-Ecuador. Sismo que según el informe presentado por el IG-EPN del día domingo 17 de abril de 2016 tuvo su epicentro en la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí. Resultado del desplazamiento de las placas tectónicas, Nazca (placa oceánica) sumergida bajo la placa de Sudamerica (placa continental), produjo un sismo de magnitud 7.8 (Mw) con

una profundidad de 20 km. Además, se hicieron presentes alrededor de 230 réplicas, donde su magnitud oscilaba entre 3.5 a 6.1 (Mw). Las réplicas se deben al reacomodo de las placas tectónicas, durante este proceso las placas sufren movimientos ligeros en búsqueda de un equilibrio de reajuste (IGEPN, 2016).

El valle de los Chillos por efecto del sismo del 16 de abril no sufrió ningún daño, alcanzando únicamente una aceleración máxima del suelo de 0,063g en relación a la aceleración máxima registrada en el epicentro de 0,4g, datos que se muestra en la Tabla 27 (SNGR, 2011)

Tabla 27.
Aceleración sísmica del suelo, producida por el sismo de magnitud 7.8 el 16/04/2016 en la zona de estudio.

Fecha del sismo	Ubicación	Ciudad	Provincia	Desplazamiento de placas		Magnitud (Mw)	Profundidad (Kms.)	Aceleración Sísmica del Suelo
16/4/16	Epicentro	Pedernales	Manabí	Nazca (Placa Océanica)	Sudamericana (Placa Continental)	7,8	20	0,4g
	Zona de Estudio	Sangolquí	Pichincha					0,063g

Nota: La aceleración sísmica del suelo en la zona de estudio perteneciente a la parroquia de Sangolquí igual a 0,063g. se la obtuvo relacionando la aceleración pico de la provincia de Manabí con la aceleración pico de la provincia de Pichincha. Aceleraciones producidas por el sismo de 7.8 que registró una aceleración sísmica del suelo de 0,4g con epicentro en la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí. Datos de aceleraciones picos obtenidos del Mapa de movimientos (ShakeMap) del servicio geológico de los Estados Unidos, United States Geological Survey (USGS).

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

CAPÍTULO IV.

4. APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA VISUAL

En este capítulo se aplica la metodología de evaluación técnica visual para cuatro puentes que atraviesan el río Santa Clara ante fenómenos sísmicos y erupciones volcánicas.

Metodología planteada en el subcapítulo 2.4, la cual evalúa diferentes parámetros. A los parámetros se los califica de acuerdo al estado físico-estructural actual de cada puente. Resultados que se los multiplica por la ponderación de acuerdo a lo estipulado por la metodología. Concluyendo con una sumatoria global de todos los resultados de cada parámetro para obtener un índice de vulnerabilidad. Índice de vulnerabilidad con el cual se efectúa un análisis cualitativo para conocer el grado de vulnerabilidad de cada puente en estudio.

La evaluación técnica visual de puentes ante erupciones volcánicas que se aplica en este capítulo es basada en la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador (SNGR, 2011), descrita a detalle en la subdivisión 2.4.1.

La evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos que se aplica en este capítulo se basa en la metodología propuesta por La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. Metodología que realiza una estimación del grado de vulnerabilidad de puentes, descrita con mayor amplitud en la subdivisión 2.4.2.

4.1.1 Puente De Hormigón Armado “El Aguacate”, Calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Nombre del puente:	Aguacate
Nombre del río:	Santa Clara
Nombre de la vía:	L. Mercado
Año de construcción:	2010
Mantenimiento:	N/A

Inspector: Martin Núñez Naranjo
 Fecha: Miércoles, 13 de Junio de 2016

IMPORTANCIA DEL PUENTE

Red comunitaria: ☐ Red básica: ☒
 Red secundaria: ☐ Autopista: ☐

UBICACIÓN

Sector:	Valle de los Chillos
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha
Referencia:	Hormigón Armado

UTILIDAD DEL PUENTE

Puente peatonal: ☐ Puente vehicular: ☒

CIMENTACIÓN

ROCA ☒ ARCILLA ☐ GRANULAR ☐

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE

SIMPLEMENTE APOYADO	<input checked="" type="checkbox"/>
CONTINUO	<input type="checkbox"/>
TRAMOS	<input type="checkbox"/>
ATIRANTADO	<input type="checkbox"/>
COLCANTE	<input type="checkbox"/>
OTRO (ESPECIFIQUE):	<input type="checkbox"/>

TIPOS DE ELEMENTOS

ESTRIBOS:	Con saleros, concreto
PILAS:	Pilas sólidas, concreto
APOYOS:	De neopreno
TRABES:	Vano único

Gálibo existente:	3,68 m.
Esviaje:	<10°
Número de claros:	1

ESTADO DEL REVESTIMIENTO

BUENO ☒ REGULAR ☐ MALO ☐

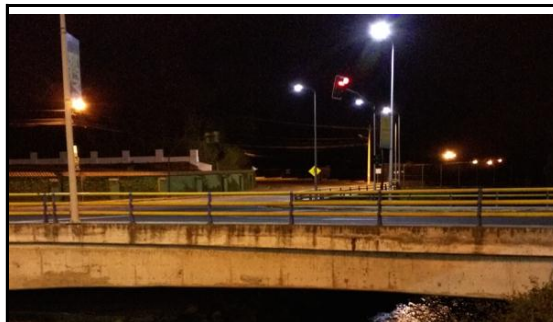
GEOMETRÍA

LONGITUD:	39,5 m.
ANCHO TOTAL:	14,4 m.
IRREGULARIDAD PILAS:	N/A
NÚMERO DE VÍAS:	2 vías

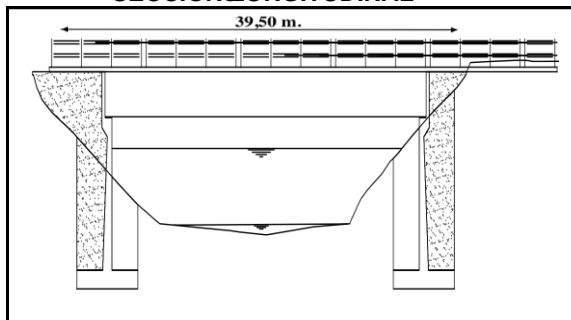
ESTÁNDARES DE DISEÑO

Aplica la norma MOP 2002 ☒
 Versión anterior MOP 2002 ☐
 No aplica normativa ☐

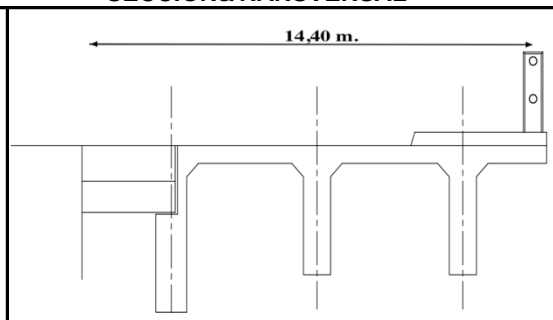
FOTOGRAFÍA DEL PUENTE



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

4.1.2 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánico lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánico ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTES	Estado del revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de diseño y construcción	Aplica la normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión anterior al 2002	5	5				
		No aplica normativa	10	10				
SUMATORIA TOTAL					100	100	50	100

Fuente: (SNGR, 2011).

4.1.2.1 Análisis De La Ficha De Evaluación.

El puente de hormigón armado (El Aguacate) ubicado en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero, dentro de la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante erupciones volcánicas se espera que no sea afectado, según los estudios realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) datos que se muestra en la Tabla 28 correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares. Su no afectación se debe a que la altura del gálibo (3,68 m) es mayor que la altura prevista por el paso del 30% del caudal del flujo lahático (3,24 m); por lo tanto, se procede a realizar el análisis de socavación general y así determinar el grado de vulnerabilidad ante fenómenos laháticos y flujos de lodo provenientes de una próxima erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 28.

Afectación de los lahares en la zona de estudio. (Estudio realizado por la Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas, ESPE).

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10 ⁶ m ³	CAUDAL 10 ³ m ³ /s		Coef. Manning	MÁX. ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
				30%	40%		30%	40%		
El Aguacate	Sangolquí	River Mall	44,1	14,7	19,6	0,09	3,24	3,6	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río	Parcialmente Inundado
De Madera	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
Enkador	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
De Mampostería	Pintag	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0,09	20	25	-	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2013).

En el cálculo de la profundidad de “socavación general”, se lo realiza considerando al paso de lahares y flujos como un escenario hidráulico en el cual se hace uso de las ecuaciones propuestas por “Manning” para el cálculo de caudal de agua (m³/s) y velocidad media de agua (m/s), como se muestra en la Tabla 29 . Con el cálculo de estas dos variables se procede al cálculo con la metodología propuesta por Lischtvan–Levediev, el siguiente cálculo se encuentra detallado en la Tabla 30. El esquema gráfico de los perfiles de socavación se muestra en la Figura 4.1.

Tabla 29.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado por el paso de lahares- m³/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada por el paso de lahares- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

Cálculo de caudal y velocidad por paso de lahares y flujos de lodo		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	15,50	m
Alto (Calado)=	3,38	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	52,39	m ²
Perímetro=	22,26	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	5,85	m/s
Caudal=	306,66	m ³ /s

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

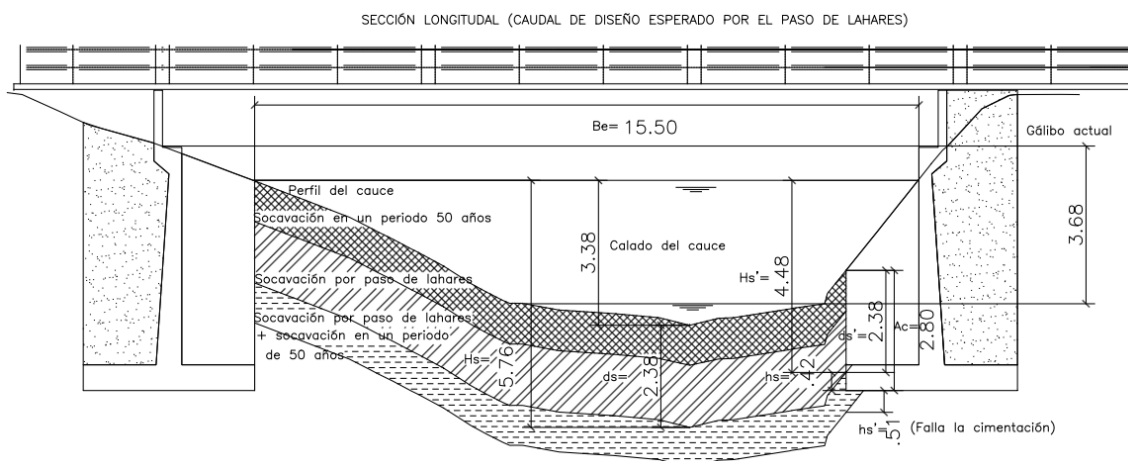
Tabla 30.

Datos y resultados del análisis de “socavación general” producida en el cauce del río Santa Clara por el posible paso de lahares en una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Estudio considerado en la ubicación del puente “El Aguacate”, en la calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado por el paso de lahares, sección completamente llena)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	306,66	m ³ /s	Caudal de diseño esperado por el paso de lahares (sección completamente llena)
$B_e =$	15,50	m	Ancho efectivo de superficie de agua
$h =$	3,38	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	20,00	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,94	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	5,85	m/s	$Q_d/(h \cdot B_e)$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{Log}Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	52,39	m ²	Q_d/V_m
$h_m =$	3,38	m	A/B_e
$\alpha =$	2,60	-	$Q_d/(h_m^{5/3} \cdot B_e)$
Resultados			
$A_c =$	2,80	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
$H_s =$	5,76	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	4,48	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
$d_s =$	2,38	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$d_s' =$	2,38	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la socavación hacia la base del estribo (h_s)	0,42	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)
Profundidad de la base del estribo hacia la socavación (h_s')	0,51	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares)

Fuente: (Martín Núñez, 2016).

Figura 4.1. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado por el paso de lahares) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Como resultado se tiene que la profundidad de socavación (ds') es igual a 2,38 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo); por otra parte, a través de los planos almacenados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, se conoce que el puente de hormigón armado “El Aguacate” está cimentado a 2,80 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo). Por lo tanto, la profundidad de la socavación hacia la cimentación (hs) es igual a 0,42 m teniendo como resultado la no afectación de la cimentación por socavación general; sin embargo, al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares se tiene como resultado una profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs') igual a 0,51 m. Al ser mayor la profundidad esperada por socavación general en el puente “El Aguacate” que la profundidad existente de cimentación, se considera al puente con alta vulnerabilidad ante amenazas provocadas por lahares y flujos de lodo en una posible erupción del volcán Cotopaxi, puntuando a la ficha de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas por el paso de lahares y lodos con el valor máximo de “100”.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica realizado con el uso de la Tabla 31, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alta por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 31.

Análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 HASTA 33	Baja
34 -66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011).

4.1.3 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos.

#	Parámetro	Categoría					Wi
1	Año-de-construcción	1 >-1993	2 1985/-1993	3 1977/-1985	4 1959-/1977	5 1959<	0,1154
2	Irregularidad-en-la-subestructura	1 ninguna	2 /	3 altura-de-pilas-#-1,5-a-2-veces	4 /	5 altura-de-pilas-#-5-veces	0,1154
3	Irregularidad-en-superes/-estructura	1 esviaje<10°	2 esviaje10°≤α<30°	3 esviaje30°≤α<45°	4 /	5 esviaje>45°	0,1154
4	Cimentación	1 roca	2 /	3 arcilla	4 /	5 granular	0,1154
5	Importancia-del-puente	1 camino-D	2 camino-C	3 camino-B	4 /	5 camino-A	0,0962
6	Peligrosidad-sísmica	1 zona-A	2 zona-B	3 zona-C	4 zona-D	5 zona-E	0,1346
7	Juntas-de-expansión	1 claros<-1	2 claros-entre-2-y-3	3 claros-entre-4-y-5	4 /	5 claros->5	0,0192
8	Estribos	1 con-aleros-integrados,-de-concreto	2 con-aleros-integrados,-de-mampos/-tería	3 pilotes-con-cabezal,-de-concreto	4 pilotes-con-cabezal,-de-mamposte/ría	5 tipo-flotante-(de-mamposte/ría,-madera-o-cimentados-sobre-terraplén)	0,0384
9	Pilas	1 pila-sólida,-concreto	2 pila-sólida,-mampos/-tería	3 columna-sola-con-cabezal	4 columna-sola	5 otros	0,0769
10	Apoyos	1 apoyo-deslizante	2 de-neoprenos	3 /	4 apoyo-rolado	5 placa-de-acero	0,0769
11	Trabes	1 vano-único	2 vigas-monolíticas	3 vigas-continuas	4 vigas-simple/mente-soportadas	5 vanos-múltiples	0,0769
12	Estado-de-conservación	1 acción-de-mantenimiento<-5-años	2 /	3 acción-de-mantenimiento->5-años	4 /	5 no-se-ha-realizado-mantenimiento	0,0577

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!ÍNDICE DE VULNERABILIDAD: IV_{GM}" = 2,0192 ~"2

4.1.3.1 Análisis De La Ficha De Evaluación.

El puente de hormigón armado (El Aguacate), con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de poco vulnerable ante próximos eventos sísmicos. Según el análisis cualitativo realizado con el uso de la Tabla 32 de vulnerabilidad sísmica.

Tabla 32.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad sísmica.

Índice De Vulnerabilidad	Descripción
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

4.2.1 Puente De Madera, Vía Hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental) y Av. Juan De Salinas.

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Nombre del puente:	Puente de madera
Nombre del río:	Santa Clara
Nombre de la vía:	Cerros Golf Club
Año de construcción:	1990
Mantenimiento:	2010

Inspector:	Martin Núñez Marango
Fecha:	Miércoles, 3 de junio de 2016

IMPORTANCIA DEL PUENTE

Red comunitaria:	<input checked="" type="checkbox"/>	Red básica:	<input type="checkbox"/>
Red secundaria:	<input type="checkbox"/>	Autopista:	<input type="checkbox"/>

UBICACIÓN

Sector:	Valle de los Chillos
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha
Referencia:	Hacia Cerros Golf Club

UTILIDAD DEL PUENTE

Puente peatonal: ☐ Puente vehicular: ☒

CIMENTACIÓN

ROCA ☒ ARCILLA ☐ GRANULAR ☐

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE

SIMPLEMENTE APOYADO	<input checked="" type="checkbox"/>
CONTINUO	<input type="checkbox"/>
TRAMOS	<input type="checkbox"/>
ATIRANTADO	<input type="checkbox"/>
COLCANTE	<input type="checkbox"/>
OTRO (ESPECIFIQUE):	<input type="checkbox"/>

TIPOS DE ELEMENTOS

ESTRIBOS:	Tipo volante (madera)
PILAS:	Otros (sin pilas)
APOYOS:	Placas de acero
TRABES:	Vigas simplemente soportadas

Gálibro existente:	2,50 m.
Esviaje:	<10°
Número de claros:	1

ESTADO DEL REVESTIMIENTO

BUENO ☐ REGULAR ☒ MALO ☐

GEOMETRÍA

LONGITUD:	12,38 m.
ANCHO TOTAL:	4,7 m.
IRREGULARIDAD PILAS:	N/A
NÚMERO DE VÍAS:	2 vías

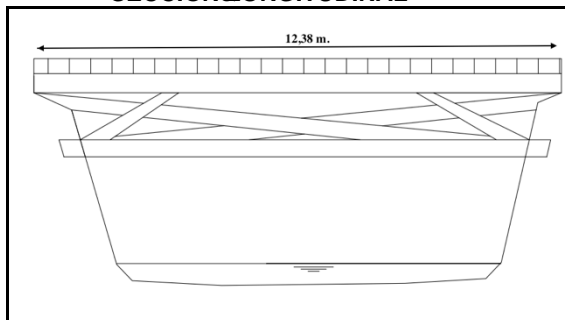
ESTÁNDARES DE DISEÑO

Aplica norma MOP 2002	<input type="checkbox"/>
Versión anterior MOP 2002	<input type="checkbox"/>
No aplica normativa	<input checked="" type="checkbox"/>

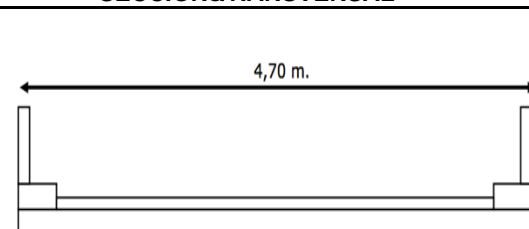
FOTOGRAFÍA DEL PUENTE



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

4.2.2 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánico lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánico ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTES	Estado del revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de diseño y construcción	Aplica la normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión anterior al 2002	5	5				
		No aplica normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL				100	100	70	100

Fuente: (SNGR, 2011).

4.2.2.1 Análisis De La Ficha De Evaluación

El puente de madera ubicado en la vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas, dentro de la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante erupciones volcánicas se espera que sea afectado, según los estudios realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) datos que se muestra en la Tabla 33 correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares. Su afectación se debe a que la altura del gálibo (2,50 m) es menor que la altura prevista por el paso del 30% del caudal del flujo lahárico (22,00 m); además del estudio de la altura máxima esperada por el paso de lahares se procede a realizar el análisis de socavación general y así determinar el grado de vulnerabilidad del puente en análisis ante fenómenos laháricos y flujos de lodo provenientes de una próxima erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 33.

Afectación de los lahares en la zona de estudio. (Estudio realizado por la Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas, ESPE).

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10 ⁶ m ³	CAUDAL 10 ³ m ³ /s		Coef. Manning	MÁX. ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
				30%	40%		30%	40%		
El Aguacate	Sangolquí	River Mall	44,1	14,7	19,6	0,09	3,24	3,6	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río	Parcialmente Inundado
De Madera	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
Enkador	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
De Mampostería	Pintag	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0,09	20	25	-	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2013).

En el cálculo de la profundidad de “socavación general”, se lo realiza considerando al paso de lahares y flujos como un escenario hidráulico en el cual se hace uso de las ecuaciones propuestas por “Manning” para el cálculo de caudal de agua (m³/s) y velocidad media de agua (m/s), como se muestra en la Tabla 34 . Con el cálculo de estas dos variables se procede al cálculo con la metodología propuesta por Lischtvan–Levediev, el siguiente cálculo se encuentra detallado en la Tabla 35. El esquema gráfico de los perfiles de socavación se muestra en la Figura 4.2.

Tabla 34.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado por el paso de lahares- m³/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada por el paso de lahares- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón armado “El Aguacate”, calle Leopoldo Mercado y Av. Luis Cordero.

Cálculo de caudal y velocidad por paso de lahares y flujos de lodo		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	11,12	m
Alto (Calado)=	4,27	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	47,48	m ²
Perímetro=	19,66	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	5,96	m/s
Caudal=	282,77	m ³ /s

Fuente: (Martín Núñez, 2016).

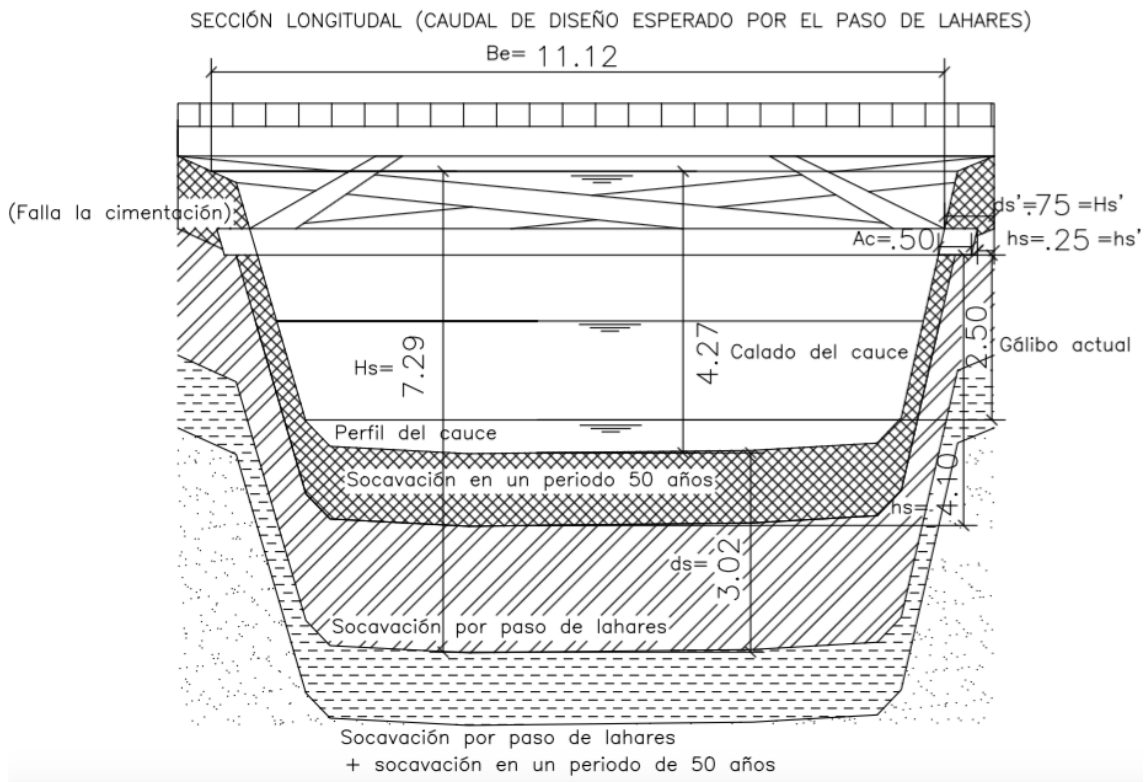
Tabla 35.

Datos y resultados del análisis de “socavación general” producida en el cauce del río Santa Clara por el posible paso de lahares en una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Estudio considerado en la ubicación del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado por el paso de lahares, sección completamente llena)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	282,77	m ³ /s	Caudal de diseño esperado por el paso de lahares (sección completamente llena)
$Be =$	11,12	m	Ancho efectivo de superficie de agua
$h =$	4,27	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	12,00	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,89	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	5,96	m/s	$Q_d/(h \cdot Be)$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\log Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	47,48	m ²	Q_d/V_m
$hm =$	4,27	m	A/Be
$\alpha =$	2,26	-	$Q_d/(hm^{5/3} \cdot Be)$
Resultados			
$Ac =$	0,50	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el extremo de la cimentación hacia el perfil del cauce del río)
$H_s =$	7,29	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	0,75	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en el extremo de la cimentación)
$ds =$	3,02	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$ds' =$	0,75	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en el extremo de la cimentación)
Profundidad de la cimentación hacia la socavación (h_s)	0,25	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)
Profundidad de la cimentación hacia la socavación (h_s')	0,25	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares)

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 4.2. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado por el paso de lahares) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de madera, vía hacia Los Cerros Golf Club (puerta oriental) y Av. Juan de Salinas.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Como resultado se tiene que la profundidad de socavación (ds') es igual a 0,75 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en el extremo de la cimentación); por otra parte, a través del estudio en campo, se conoce que el larguero del puente de “madera” está cimentado a 0,50 m (medida desde el extremo de la cimentación hacia el perfil del cauce del río). Por lo tanto, la profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs) es igual a 0,25 m teniendo como resultado la afectación de la cimentación por socavación general; además, al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares se tiene como resultado una profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs') igual a 0,25 m. Al ser mayor la profundidad esperada por socavación general en el puente de “madera” que la profundidad existente de cimentación, se considera al puente con alta vulnerabilidad ante amenazas provocadas por lahares y flujos de lodo en una posible erupción del volcán Cotopaxi, puntuando a la ficha de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas por el paso de lahares y lodos con el valor máximo de “100”.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica realizado con el uso de la Tabla 36, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alta por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 36.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 HASTA 33	Baja
34-66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011).

4.2.3 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos.

#	Parámetro	Categoría					Wi
1	Año de construcción	1 > 1993	2 1985 - 1993	3 1977 - 1985	4 1959 - 1977	5 1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la subestructura	1 ninguna	2 -	3 altura de pilas $\neq 1,5$ a 2 veces	4 -	5 altura de pilas $\neq 5$ veces	0,1154
3	Irregularidad en superestructura	1 esviaje $< 10^\circ$	2 esviaje $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	3 esviaje $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	4 -	5 esviaje $> 45^\circ$	0,1154
4	Cimentación	1 roca	2 -	3 arcilla	4 -	5 granular	0,1154
5	Importancia del puente	1 camino D	2 camino C	3 camino B	4 -	5 camino A	0,0962
6	Peligrosidad sísmica	1 zona A	2 zona B	3 zona C	4 zona D	5 zona E	0,1346
7	Juntas de expansión	1 claros < 1	2 claros entre 2 y 3	3 claros entre 4 y 5	4 -	5 claros > 5	0,0192
8	Estribos	1 con aleros integrados, de concreto	2 con aleros integrados, de mampostería	3 pilotes con cabezal, de concreto	4 pilotes con cabezal, de mampostería	5 tipo flotante (de mampostería, madera o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	1 pila sólida, concreto	2 pila sólida, mampostería	3 columna sola con cabezal	4 columna sola	5 otros	0,0769
10	Apoyos	1 apoyo deslizante	2 de neoprenos	3 -	4 apoyo rodado	5 placa de acero	0,0769
11	Trabes	1 vano único	2 vigas monolíticas	3 vigas continuas	4 vigas simplemente soportadas	5 vanos múltiples	0,0769
12	Estado de conservación	1 acción de mantenimiento < 5 años	2 -	3 acción de mantenimiento > 5 años	4 -	5 no se ha realizado mantenimiento	0,0577

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!ÍNDICE DE VULNERABILIDAD:

''''''''IVGM' = 2,6725

~'3

4.2.3.1 Análisis De La Ficha De Evaluación

El puente de madera de la vía hacia Los Cerros Golf Club (Puerta Oriental), con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de moderadamente vulnerabilidad ante próximos eventos sísmicos. Según el análisis cualitativo realizado con el uso de la Tabla 37 de vulnerabilidad sísmica.

Tabla 37.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad sísmica.

Índice De Vulnerabilidad	Descripción
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

4.3.1 Puente De Hormigón Postensado “Enkador”, Vía Hacia el Barrio San Miguel y Av. Juan De Salinas.

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Nombre del Puente:	Enkador
Nombre del Río	Santa Clara
Nombre de la Vía:	Hacia San Miguel
Año de Construcción:	2010
Mantenimiento:	N/A

Inspector:	Martín Núñez Naranjo
Fecha:	Miércoles, 13 de Junio de 2016

IMPORTANCIA DEL PUENTE

Red Comunitaria:	<input type="checkbox"/>	Red Básica:	<input checked="" type="checkbox"/>
Red Secundaria:	<input type="checkbox"/>	Autopista:	<input type="checkbox"/>

UBICACIÓN

Sector:	Valle de los Chillos
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha
Referencia:	Hormigón Postensado

UTILIDAD DEL PUENTE

Puente Peatonal:	<input type="checkbox"/>	Puente Vehicular:	<input checked="" type="checkbox"/>
------------------	--------------------------	-------------------	-------------------------------------

CIMENTACIÓN

ROCA	<input checked="" type="checkbox"/>	ARCILLA	<input type="checkbox"/>	GRANULAR	<input type="checkbox"/>
------	-------------------------------------	---------	--------------------------	----------	--------------------------

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE

SIMPLEMENTE APOYADO	<input checked="" type="checkbox"/>
CONTINUO	<input type="checkbox"/>
TRAMOS	<input type="checkbox"/>
ATIRANTADO	<input type="checkbox"/>
COLCANTE	<input type="checkbox"/>
OTRO (ESPECIFIQUE):	<input type="checkbox"/>

TIPOS DE ELEMENTOS

ESTRIBOS:	Con aleros, concreto
PILAS	Pilas sólidas, concreto
APOYOS:	Rolado
TRABES:	Vano Único

Gálibro existente:	9,26m.
Esviaje:	<10°
Número de Claros:	1

ESTADO DEL REVESTIMIENTO

BUENO	<input checked="" type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------------	---------	--------------------------	------	--------------------------

GEOMETRÍA

LONGITUD:	27,20m.
ANCHO TOTAL:	12,00m.
IRREGULARIDAD PILAS:	N/A
NÚMERO DE VÍAS:	2 vías

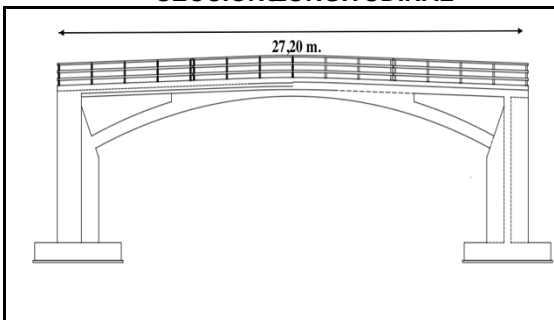
ESTÁNDARES DE DISEÑO

Aplica la Norma MOP 2002	<input checked="" type="checkbox"/>
Versión anterior MOP 2002	<input type="checkbox"/>
No aplica normativa	<input type="checkbox"/>

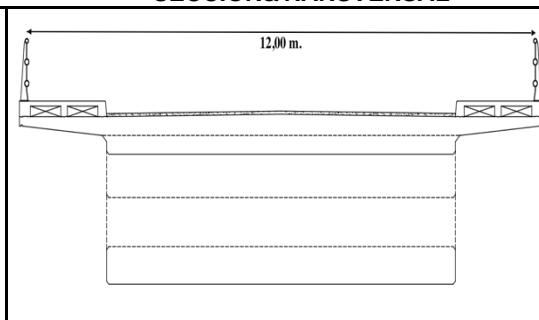
FOTOGRAFÍA DEL PUENTE



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL



Fuente: (Martín Núñez, 2016).

4.3.2 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánico lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánico ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE Puentes	Estado del revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de diseño y construcción	Aplica la normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión anterior al 2002	5	5				
		No aplica normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL				100	100	50	100

Fuente: (SNGR, 2011).

4.3.2.1 Análisis De La Ficha De Evaluación

El puente de hormigón postensado ubicado en la vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan de Salinas, dentro de la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante erupciones volcánicas se espera que sea afectado, según los estudios realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) datos que se muestra en la Tabla 38 correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares. Su afectación se debe a que la altura del gálibo (9,26 m) es menor que la altura prevista por el paso del 30% del caudal del flujo lahárico (22,00 m); además del estudio de la altura máxima esperada por el paso de lahares se procede a realizar el análisis de socavación general y así determinar el grado de vulnerabilidad del puente en análisis ante fenómenos laháricos y flujos de lodo provenientes de una próxima erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 38.

Afectación de los lahares en la zona de estudio. (Estudio realizado por la Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas, ESPE).

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10 ⁶ m ³	CAUDAL 10 ³ m ³ /s		Coef. Manning	MÁX. ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
				30%	40%		30%	40%		
El Aguacate	Sangolquí	River Mall	44,1	14,7	19,6	0,09	3,24	3,6	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río	Parcialmente Inundado
De Madera	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
Enkador	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
De Mampostería	Pintag	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0,09	20	25	-	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2013).

En el cálculo de la profundidad de “socavación general”, se lo realiza considerando al paso de lahares y flujos como un escenario hidráulico en el cual se hace uso de las ecuaciones propuestas por “Manning” para el cálculo de caudal de agua (m³/s) y velocidad media de agua (m/s), como se muestra en la Tabla 39 . Con el cálculo de estas dos variables se procede al cálculo con la metodología propuesta por Lischtvan–Levediev, el siguiente cálculo se encuentra detallado en la Tabla 40. El esquema gráfico de los perfiles de socavación se muestra en la Figura 4.3.

Tabla 39.

Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado por el paso de lahares- m³/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada por el paso de lahares- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado ubicado en la vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de caudal y velocidad por paso de lahares y flujos de lodo		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	22,40	m
Alto (Calado)=	6,59	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	147,62	m ²
Perímetro=	35,58	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	8,54	m/s
Caudal=	1260,90	m ³ /s

Fuente: (Martín Núñez, 2016).

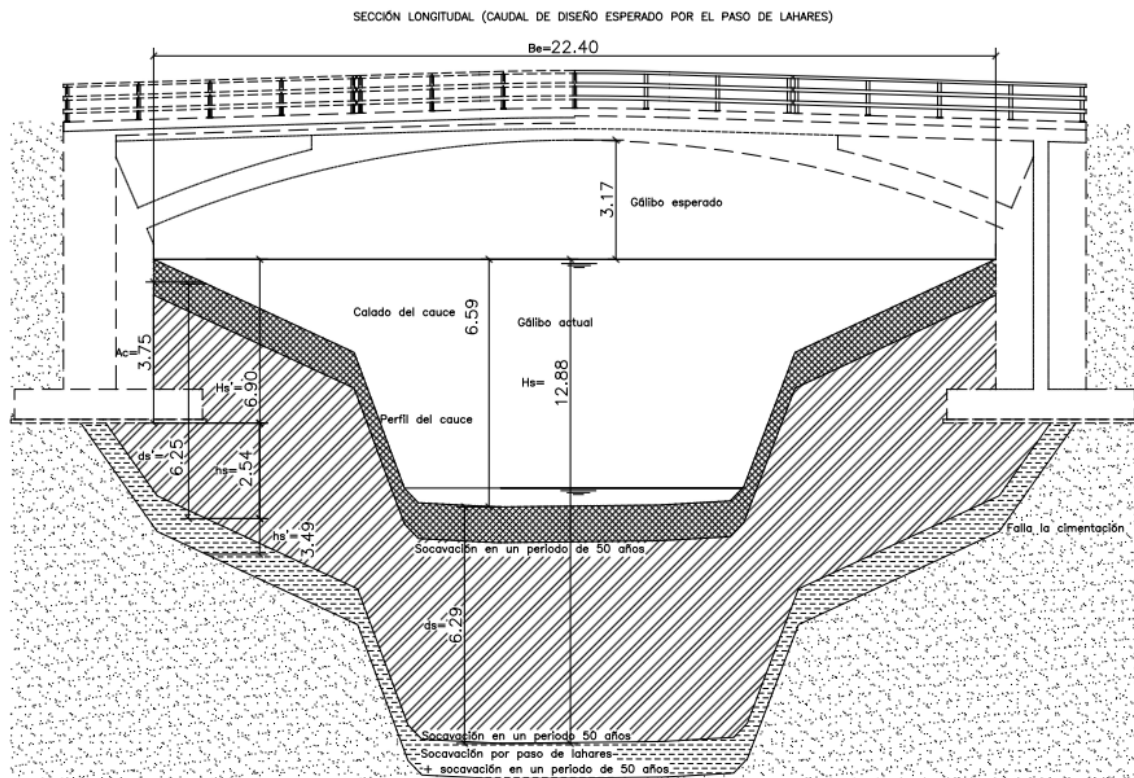
Tabla 40.

Datos y resultados del análisis de “socavación general” producida en el cauce del río Santa Clara por el posible paso de lahares en una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Estudio considerado en la ubicación del puente de hormigón postensado ubicado en la vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado por el paso de lahares, sección completamente llena)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	1260,90	m ³ /s	Caudal de diseño esperado por el paso de lahares (sección completamente llena)
$B_e =$	22,40	m	Ancho efectivo de superficie de agua
$h =$	6,59	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	24,80	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,94	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	8,54	m/s	$Q_d/(h \cdot B_e)$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973\text{Log}Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	147,62	m ²	Q_d/V_m
$h_m =$	6,59	m	A/B_e
$\alpha =$	2,43	-	$Q_d/(h_m^{5/3} \cdot B_e)$
Resultados			
$A_c =$	3,75	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
$H_s =$	12,88	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	6,90	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
$d_s =$	6,29	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$d_s' =$	6,25	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la base del estribo hacia la socavación (h_s)	2,54	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)
Profundidad de la cimentación hacia la socavación (h_s')	3,49	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares)

Fuente: (Martín Núñez, 2016).

Figura 4.3. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado por el paso de lahares) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente de hormigón postensado ubicado en la vía hacia el barrio San Miguel y Av. Juan de Salinas.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Como resultado se tiene que la profundidad de socavación (ds') es igual a 6,25 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo); por otra parte, a través de los planos almacenados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, se conoce que el puente “postensado” está cimentado a 3,75 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo). Por lo tanto, la profundidad de la base del estribo hacia la socavación (hs) es igual a 2,54 m teniendo como resultado la afectación de la cimentación por socavación general; además, al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares se tiene como resultado una profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs') igual a 3,49 m. Al ser mayor la profundidad esperada por socavación general en el puente “postensado” que la profundidad existente de cimentación, se considera al puente con alta vulnerabilidad ante amenazas provocadas por lahares y flujos de lodo en una posible erupción del volcán Cotopaxi, puntuando a la ficha de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas por el paso de lahares y lodos con el valor máximo de “100”.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica realizado con el uso de la Tabla 41, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alta por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 41.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 HASTA 33	Baja
34 -66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011).

4.3.3 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos.

#	Parámetro	Categoría					Wi
1	Año de construcción	1 > 1993	2 1985 - 1993	3 1977 - 1985	4 1959 - 1977	5 1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la subestructura	1 ninguna	2 -	3 altura de pilas \neq 1,5 a 2 veces	4 -	5 altura de pilas \neq 5 veces	0,1154
3	Irregularidad en superestructura	1 esviaje $< 10^\circ$	2 esviaje $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	3 esviaje $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	4 -	5 esviaje $> 45^\circ$	0,1154
4	Cimentación	1 roca	2 -	3 arcilla	4 -	5 granular	0,1154
5	Importancia del puente	1 camino D	2 camino C	3 camino B	4 -	5 camino A	0,0962
6	Peligrosidad sísmica	1 zona A	2 zona B	3 zona C	4 zona D	5 zona E	0,1346
7	Juntas de expansión	1 claros < 1	2 claros entre 2 y 3	3 claros entre 4 y 5	4 -	5 claros > 5	0,0192
8	Estribos	1 con aleros integrados, de concreto	2 con aleros integrados, de mampostería	3 pilotes con cabezal, de concreto	4 pilotes con cabezal, de mampostería	5 tipo flotante (de mampostería, madera o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	1 pila sólida, concreto	2 pila sólida, mampostería	3 columna sola con cabezal	4 columna sola	5 otros	0,0769
10	Apoyos	1 apoyo deslizante	2 de neoprenos	3 -	4 apoyo rodado	5 placa de acero	0,0769
11	Trabes	1 vano único	2 vigas monolíticas	3 vigas continuas	4 vigas simplemente soportadas	5 vanos múltiples	0,0769
12	Estado de conservación	1 acción de mantenimiento < 5 años	2 -	3 acción de mantenimiento > 5 años	4 -	5 no se ha realizado mantenimiento	0,0577

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!ÍNDICE DE VULNERABILIDAD:

''''''''IVGM' = 2,173

~'3

4.3.3.1 Análisis De La Ficha De Evaluación

El puente de hormigón postensado (Enkador), con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de moderadamente vulnerable ante próximos eventos sísmicos. Según el análisis cualitativo realizado con el uso de la Tabla 42 de vulnerabilidad sísmica.

Tabla 42.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad sísmica.

Índice De Vulnerabilidad	Descripción
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

4.4.1 Puente En Forma de Arco De Mampostería, Calle Santa Clara y Av. Juan De Salinas.

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Nombre del Puente:	Puente en Arco
Nombre del Río	Santa Clara
Nombre de la vía:	calle Sta. Clara
Año de construcción:	1988
Mantenimiento:	N/A

Inspector:	Martin Muñoz Naranjo
Fecha:	Miércoles, 3 de junio de 2016

IMPORTANCIA DEL PUENTE

Red comunitaria:	<input checked="" type="checkbox"/>	Red básica:	<input type="checkbox"/>
Red secundaria:	<input type="checkbox"/>	Autopista:	<input type="checkbox"/>

UBICACIÓN

Sector:	Valle de los Chillos
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha
Referencia:	Puente de mampostería

UTILIDAD DEL PUENTE

Puente peatonal:	<input type="checkbox"/>	Puente vehicular:	<input checked="" type="checkbox"/>
------------------	--------------------------	-------------------	-------------------------------------

CIMENTACIÓN

ROCA	<input checked="" type="checkbox"/>	ARCILLA	<input type="checkbox"/>	GRANULAR	<input type="checkbox"/>
------	-------------------------------------	---------	--------------------------	----------	--------------------------

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE

SIMPLEMENTE APOYADO	<input type="checkbox"/>
CONTINUO	<input type="checkbox"/>
TRAMOS	<input type="checkbox"/>
ATIRANTADO	<input type="checkbox"/>
COLCANTE	<input type="checkbox"/>
OTRO (EN ARCO):	<input checked="" type="checkbox"/>

TIPOS DE ELEMENTOS

ESTRIBOS:	De mampostería
PILAS	Otros
APOYOS:	Sobre Arco
TRABES:	De mampostería

Gálibro existente:	6,97
Esviaje:	<10°
Número de arcos:	1

ESTADO DEL REVESTIMIENTO

BUENO	<input type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	--------------------------	---------	--------------------------	------	-------------------------------------

GEOMETRÍA

LONGITUD:	15,00 m.
ANCHO TOTAL:	4,20 m.
IRREGULARIDAD PISAS:	N/A
NÚMERO DE PISAS:	1 vía

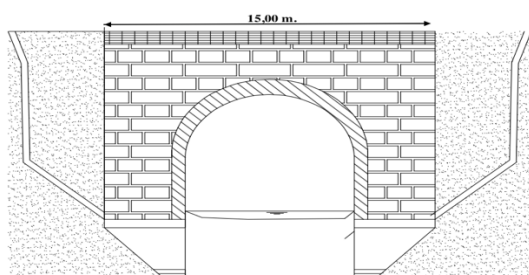
ESTÁNDARES DE DISEÑO

Aplica norma MOP 2002	<input type="checkbox"/>
Versión anterior MOP 2002	<input type="checkbox"/>
No aplica normativa	<input checked="" type="checkbox"/>

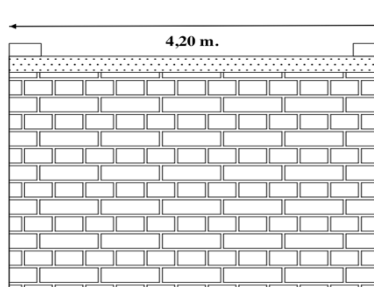
FOTOGRAFÍA DEL PUENTE



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL



4.4.2 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánico lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánico ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE Puentes	Estado del revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	10	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de diseño y construcción	Aplica la normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión anterior al 2002	5	5				
		No aplica normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL				100	100	100	100

Fuente: (SNGR, 2011).

4.4.2.1 Análisis De La Ficha De Evaluación

El puente en forma de arco de mampostería ubicado en la calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas, dentro de la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante erupciones.

El puente en forma de arco de mampostería, calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas, dentro de la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante erupciones volcánicas se espera que sea afectado, según los estudios realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) datos que se muestra en la Tabla 43 correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares. Su afectación se debe a que la altura del gálibo (6,97 m) es menor que la altura prevista por el paso del 30% del caudal del flujo lahárico (20,00 m); además del estudio de la altura máxima esperada por el paso de lahares se procede a realizar el análisis de socavación general y así determinar el grado de vulnerabilidad del puente en análisis ante fenómenos laháricos y flujos de lodo provenientes de una próxima erupción del volcán Cotopaxi.

Tabla 43.
Afectación de los lahares en la zona de estudio. (Estudio realizado por la Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas, ESPE).

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10 ⁶ m ³	CAUDAL 10 ³ m ³ /s		Coef. Manning	MÁX. ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
				30%	40%		30%	40%		
El Aguacate	Sangolquí	River Mall	44,1	14,7	19,6	0,09	3,24	3,6	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río	Parcialmente Inundado
De Madera	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
Enkador	Pintag	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0,09	22	25	-	Sumergido
De Mampostería	Pintag	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0,09	20	25	-	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2013).

En el cálculo de la profundidad de “socavación general”, se lo realiza considerando al paso de lahares y flujos como un escenario hidráulico en el cual se hace uso de las ecuaciones propuestas por “Manning” para el cálculo de caudal de agua (m³/s) y velocidad media de agua (m/s), como se muestra en la Tabla 44. Con el cálculo de estas dos variables se procede al cálculo con la metodología propuesta por Lischtván–Levediev, el siguiente cálculo se encuentra detallado en la Tabla 45. El esquema gráfico de los perfiles de socavación se muestra en la Figura 4.4.

Tabla 44.
Cálculo del caudal de agua (caudal de diseño esperado por el paso de lahares- m³/s) y velocidad media de agua (velocidad media esperada por el paso de lahares- m/s) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería ubicado en la calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas.

Cálculo de caudal y velocidad por paso de lahares y flujos de lodo		
Río Santa Clara		
Dimensiones del Cauce		
Ancho=	7,67	m
Alto (Calado)=	7,47	m
Radio=	3,84	m
Altura del rect.	3,71	m
Propiedades Hidráulicas		
Área=	51,62	m ²
Perímetro=	27,15	m
Coeficiente de Manning (n) =	0,043	-
Pendiente=	0,020236	m/m
Velocidad=	5,08	m/s
Caudal=	262,05	m ³ /s

Fuente: (Martín Núñez, 2016).

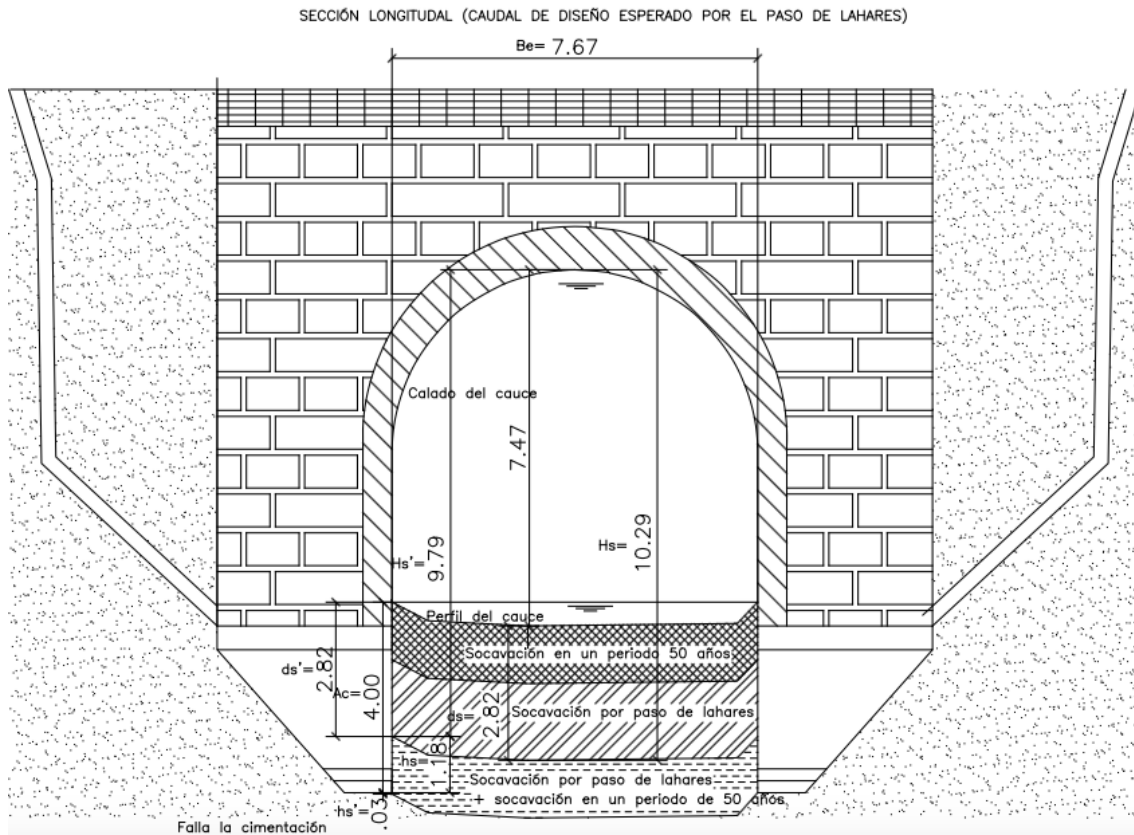
Tabla 45.

Datos y resultados del análisis de “socavación general” producida en el cauce del río Santa Clara por el posible paso de lahares en una próxima erupción del volcán Cotopaxi. Estudio considerado en la ubicación del puente en forma de arco de mampostería ubicado en la calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas

Cálculo de socavación (caudal de diseño esperado por el paso de lahares, sección completamente llena)			
Variables	Dato	Unidades	Observaciones
$Q_d =$	262,05	m ³ /s	Caudal de diseño esperado por el paso de lahares (sección completamente llena)
$Be =$	7,67	m	Ancho efectivo de superficie de agua ($r=3,84$)
$h =$	7,47	m	Altura de la sección del cauce
$l =$	15,00	m	Longitud entre estribos
$\mu =$	0,91	-	Ver Tabla 14
$V_m =$	5,08	m/s	$Q_d / ((h \cdot Be) + (r^2 \cdot \pi \cdot 0,5))$
$\gamma =$	1,70	T/m ³	Dato del estudio de suelos
$x =$	0,30	T/m ³	$x = 0.892619 - 0.58073\gamma + 0.136275\gamma$
$Tr =$	50,00	años	Periodo de retorno
$\beta =$	0,95	-	$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log Tr$
$\phi =$	2,03	T/m ³	$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma$
$A =$	51,58	m ²	Q_d / V_m
$hm =$	6,73	m	A / Be
$\alpha =$	1,43	-	$Q_d / (hm^{5/3} \cdot Be)$
Resultados			
$Ac =$	4,00	m	Profundidad de la cimentación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo)
$H_s =$	10,29	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$H_s' =$	9,79	m	Profundidad de agua después de ocurrida la socavación (medida desde el espejo de agua hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
$ds =$	2,82	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la cota mín. del perfil del cauce del río)
$ds' =$	2,82	m	Profundidad de la socavación (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo)
Profundidad de la socavación hacia la cimentación (hs)	1,18	m	La cimentación no tiene afectaciones por socavación general (al producirse el paso de lahares)
Profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs')	0,30	m	La cimentación tiene afectaciones por socavación general (al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares)

Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Figura 4.4. Perfil de socavación (para un caudal de diseño esperado por el paso de lahares) correspondiente a la sección del cauce del río Santa Clara ubicada por debajo del puente en forma de arco de mampostería ubicado en la calle Santa Clara y Av. Juan de Salinas.



Fuente: (Martin Núñez, 2016).

Como resultado se tiene que la profundidad de socavación (ds') es igual a 2,82 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la socavación, análisis en la base del estribo); por otra parte, a través del estudio en campo, se conoce que el puente de mampostería en forma de arco está cimentado a 4,00 m (medida desde el perfil del cauce del río hacia la base del estribo). Por lo tanto, la profundidad de la socavación hacia la base del estribo (hs) es igual a 1,18 m teniendo como resultado la no afectación de la cimentación por socavación general; además, al producirse un evento determinado en un periodo de retorno de 50 años a la vez se suscite el paso de lahares se tiene como resultado una profundidad de la cimentación hacia la socavación (hs') igual a 0,30 m. Al ser mayor la profundidad esperada por socavación general en el puente de mampostería en forma de arco que la profundidad existente de cimentación, se considera al puente con alta vulnerabilidad ante amenazas provocadas por lahares y flujos de lodo en una posible erupción del volcán Cotopaxi, puntuando a la ficha de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas por el paso de lahares y lodos con el valor máximo de “100”.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica realizado con el uso de la Tabla 46, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alta por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 46.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 HASTA 33	Baja
34-66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011).

4.4.3 Ficha De Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos.

#	Parámetro	Categoría					Wi
1	Año-de-construcción	1 >-1993	2 1985/-1993	3 1977/-1985	4 1959/1977	5 1959<	0,1154
2	Irregularidad-en-la-subestructura	1 ninguna	2 /	3 altura-de-pilas-≠1,5-a-2-veces	4 /	5 altura-de-pilas-≠5-veces	0,1154
3	Irregularidad-en-superes/-tructura	1 esviaje-----<10°	2 esviaje-----10°≤-α-<-30°	3 esviaje-----30°≤-α-<-45°	4 /	5 esviaje----->-45°	0,1154
4	Cimentación	1 roca	2 /	3 arcilla	4 /	5 granular	0,1154
5	Importancia-del-puente	1 camino-D	2 camino-C	3 camino-B	4 /	5 camino-A	0,0962
6	Peligrosidad-sísmica	1 zona-A	2 zona-B	3 zona-C	4 zona-D	5 zona-E	0,1346
7	Juntas-de-expansión	1 claros-<-1	2 claros-entre-2-y-3	3 claros-entre-4-y-5	4 /	5 claros->-5	0,0192
8	Estribos	1 con-aleros-integra/-dos,-de-concreto	2 con-aleros-integrados,-de-mampos/-tería	3 pilotes-con-cabezal,-de-concreto	4 pilotes-con-cabezal,-de-mamposte/ría	5 tipo-flotante-(de-mamposte/ría,-madera-o-cimentados-sobre-terraplén)	0,0384
9	Pilas	1 pila-sólida,-concreto	2 pila-sólida,-mampos/-tería	3 columna-sola-con-cabezal	4 columna-sola	5 otros	0,0769
10	Apoyos	1 apoyo-deslizante	2 de-neoprenos	3 /	4 apoyo-rolado	5 placa-de-acero	0,0769
11	Trabes	1 vano-único	2 vigas-monolíticas	3 vigas-continuas	4 vigas-simple/mente-soportadas	5 vanos-múltiples	0,0769
12	Estado-de-conservación	1 acción-de-mantenimiento-<-5-años	2 /	3 acción-de-mantenimiento->-5-años	4 /	5 no-se-ha-realizado-mantenimiento	0,0577

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006).

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!ÍNDICE!DE!VULNERABILIDAD:

''''''''IVGM' = 2,8648

~'3

4.4.3.1 Análisis De La Ficha De Evaluación.

El puente en forma de arco de mampostería, con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de moderadamente vulnerable ante próximos eventos sísmicos. Según el análisis cualitativo realizado con el uso de la Tabla 47 de vulnerabilidad sísmica.

Tabla 47.
Análisis cualitativo de vulnerabilidad sísmica.

Índice De Vulnerabilidad	Descripción
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez, Barrera, & Miranda, 2006)

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El volcán Cotopaxi por el hecho de ser el volcán en el Ecuador que ha demandado mayor monitoreo desde el año 2015, por parte del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, anticipa una inevitable erupción volcánica cercana, fecha utópica al momento de precisarla.
- El proceso de reactivación del volcán Cotopaxi es incierto, además, imposible de predecir las consecuencias que podría ocasionar una próxima erupción volcánica; por lo tanto, la urgencia de evaluar de alguna manera el daño que podría ocasionar una nueva erupción volcánica hacia estructuras como puentes, objetivo alcanzado en la presente disertación a través de un análisis de grado de vulnerabilidad de puentes que atraviesan el río Santa Clara.
- Los peligros volcánicos característicos en una erupción volcánica son los ocasionados por flujos piroplásticos, caída de cenizas y deshielo de glaciares que conllevan a la formación de lahares; en el volcán Cotopaxi no han sido la excepción, históricamente han estado presentes en la mayoría de sus erupciones. Sin embargo, la evaluación del grado de vulnerabilidad aplicado en el trabajo de disertación se lo realiza para expulsiones de cenizas volcánicas y flujos laháricos, por ser los principales peligros esperados en el área de estudio correspondiente al valle de los Chillos. Debido a que los flujos piroplásticos se conoce que únicamente afectaron a poblados cercanos que rodean al volcán.
- Durante los procesos eruptivos históricos del volcán Cotopaxi, se reconoce a los lahares como la principal amenaza volcánica debido a su alto poder destructivo. Se tiene la expectativa que en la próxima erupción del Cotopaxi, el río Santa Clara conduzca un caudal que varíe entre el 30% y 40% del caudal total producido por el deshielo de los glaciares del volcán Cotopaxi, llegando a una altura máxima de 25 m en la zona perteneciente a la parroquia de Pintag, donde se espera una afectación con carácter de puentes sumergidos como se muestra en la Tabla 26 del trabajo de disertación.
- En la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica, la aceleración sísmica considerada es de 0,4 en proporción de la aceleración de la gravedad (0,4g) por el hecho de ubicarse el área de estudio en la zona sísmica “V”. En consecuencia, la celeridad que se le da al análisis de vulnerabilidad sísmica de los puentes se debe precisamente a la alta peligrosidad sísmica que posee la zona.

- En los registros de condiciones físicas estructurales de puentes, se presentan en su generalidad puentes con falta de mantenimiento, reflejando en las fichas de evaluación de vulnerabilidad sísmica como volcánica, resultados que tienden a aumentar el grado de vulnerabilidad por su alta ponderación designada de acuerdo a la metodología de evaluación en uso.
- Dentro de los parámetros de evaluación de vulnerabilidad volcánica, el parámetro perteneciente a “Estándares de diseño y construcción” posee una de las más altas ponderaciones de la ficha en uso. En este parámetro para determinar la correcta evaluación se utilizó la memoria técnica de diseño estructural brindada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, informes que constan los puentes de hormigón armado y hormigón postensado; por otra parte, para el puente de mampostería en forma de arco y el puente de madera, se los consideró “no aplican normativa” por el hecho de no tener ningún documento legal que sustente el uso de normativa alguna, documentos inexistentes por la antigüedad en su construcción.
- En la presente disertación, los puentes evaluados fueron construidos dentro del período comprendido entre 1988 al 2010, por lo tanto en las fichas de evaluación de vulnerabilidad volcánica se aplicó la normativa “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes Mop-001-F 2002”; sin embargo, no se utilizó la actual normativa vigente perteneciente a la “Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12 – Mtop” por no estar elaborada dicha normativa en la fecha de construcción de los puentes, impidiendo su aplicación.
- Los puentes de hormigón postensado, madera y de mampostería en forma de arco dentro del análisis cualitativo de vulnerabilidad ante amenazas volcánicas producto de lahares y flujos de lodo, presentan alta vulnerabilidad. Se los clasifica con alta vulnerabilidad por el requerimiento que precisa la metodología aplicada, que nos dice “cuando el nivel de agua es mayor a la altura libre del gálibo del puente se considera a la estructura como sumergida por lo tanto puntuada con el valor máximo”. En estos casos particulares se espera una creciente del río mínima en altura de 20 m por el paso de lahares (Tabla 26 del trabajo de disertación), mucho mayor al gálibo respectivo de cada puente. Por otra parte, el puente de hormigón armado (El Aguacate) también presenta alta vulnerabilidad ante amenazas volcánicas producto de lahares y flujos de lodo pero en este caso se debe a la socavación general que se espera se produzca en el fondo del cauce del río Santa Clara.

Bibliografía

- ABC, D. (23 de Abril de 2016). *Definicionesabc*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Puente: <http://www.definicionabc.com/tecnologia/puente.php>
- Aguilera. (2004). *Los Lahares del Cotopaxi*. Recuperado el 18 de julio de 2016, de El Cotopaxi, una amenaza que acecha: <http://www.geog.fu-berlin.de/~geolearning/winter2006/participants/toulkeridis/CA4-20a48.pdf>
- Aguilera, I. E. (1996). *Espe.edu*. Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de Flujos de lodos en el Cotopaxi: <http://publiespe.espe.edu.ec/articulos/vulcanismo/flujo-de-lodos/infocoto.htm>
- Albornoz, V. (27 de Octubre de 2013). El Terremoto de 1987. *El Comercio*.
- Amaya, A. (1996). *Slideshare*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Puentes: <http://es.slideshare.net/cheila1996/los-puentes>
- Amaya, P. (26 de Enero de 2013). *Slideshare.net*. Recuperado el 6 de Agosto de 2016, de Erosión y Socavación: <http://es.slideshare.net/PaulAyamamaniGarcia/8-erosin-y-socavacin>
- Ambiente, M. d. (2015). *Áreas protegidas*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de Parque nacional Cotopaxi: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-cotopaxi>
- Banner. (11 de Diciembre de 2014). *Ingenipra* . Recuperado el 8 de Agosto de 2016, de Estudios de Socavación en ríos : <http://adf.ly/2317806/banner/http://ingenipra.blogspot.com/2014/12/estudio-de-socavacion-en-rios.html>
- Blaikie, Cannon, David, & Wisner. (1996). *La Habilidad*. La Red.
- Cabrera, C., & Jilder, M. (Enero de 2012). Los Volcanes. *El Cid Editor I apuentes*, 31.
- Cardona. (1993). *Los Desastres No Son Naturales*. La Red.
- Cardoza, & Villalobos. (2005). *UES.EDU*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Evaluación Estructural: <http://ri.ues.edu.sv/4554/1/Evaluación%20estructural%20de%20un%20puente%20mediante%20la%20realización%20de%20una%20prueba%20de%20carga%20estática.pdf>

- Carrillo, L. R. (2013). *Espe.edu*. Recuperado el 23 de Julio de 2016, de Repositorio.espe.edu:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6532/1/AC-CIV-ESPE-047084.pdf>
- CIIFEN, T. S. (2009). *CIIFEN*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de CIIFEN:
http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es
- Comercio, E. (24 de abril de 2016). *Hábitat*. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de Terremotos Proceso Natural de un Planeta vivo:
<http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/abril-24-2016/Convivencia-terremotos-sismos-montanas-ecuador>
- Córdoba, U. d. (2013). *EFN*. Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de Obras Hidráulicas:
http://web.archive.org/web/20131226225000/http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/hidraul/Obras%20Hidraulicas/oh_archivos/FLUVIAL.PDF
- Cotilla, M. O. (2007). *Un recorrido por la sismología de Cuba*. Cuba: Editorial Complutense.
- Curipoma, S. (2015). *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de Repositorio:
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9743/TESIS.pdf?sequence=1>
- D'Ercole, & Trujillo. (2003). *Amenaza, Vulnerabilidad, Capacidad y Riesgo*.
- D'Ercole, R. (2007). Percepción del riesgo asociado al volcán Cotopaxi y vulnerabilidad en el Valle de Los Chillos (Ecuador). *El Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*.
- Deconceptos, Salud, M. d., & Lorelta, M. (10 de Abril de 2016). *Desastre*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de Deconceptos: <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/desastre>
- Ecosoil. (2009). *Sísmica de Refracción*. Sangolquí.
- Enciclopedia, W. (Abril de 2016). *Wikipedia*. Recuperado el Abril de 2016, de Fenómeno Naturale: https://es.wikipedia.org/wiki/Fenómeno_natural
- Escobar, P. (2011). *Repositorio*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de ESPE:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4533/1/T-ESPE-032703.pdf>

- Espinosa, V. (2009). *Geotécnia y Geofísica mediante sísmica de refracción*. Sangolquí.
- Gómez Fernández & Gregors, J. (1 de Enero de 2014). *Wikipedia*. Obtenido de Fallas tectónicas:
https://es.wikipedia.org/wiki/Falla#/media/File:Four_types_of_faults.svg
- Gómez, Barrera, & Miranda. (2006). *Metodología vulnerabilidad sísmica de estimación preliminar de la vulnerabilidad de puentes*. Recuperado el 14 de Junio de 2016, de
 SMIE.ORG.MX:
http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_14/te_07/ar_02.pdf
- Google Earth. (12 de Junio de 2016). *Mapa de Sangolquí*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de Google Earth: <https://www.google.es/intl/es/earth/>
- Gudiño, & Ayala. (2012). *ESPE*. Recuperado el 4 de Febrero de 2016, de Análisis sísmico de puentes: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5619/1/T-ESPE-033656.pdf>
- Guzmán, E. (2013). *Intensidad de lluvias y caudales río Santa Clara*. Técnico, Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui, Obras Públicas, Sangolquí.
- Hall, & Mothes. (2007). *The rhyolitic-andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano*. Bulletin of Volcanology.
- Historia Puente. (2016). *Galeon*. Recuperado el Enero de 2016, de Puentes-Galeon: <http://puentes.galeon.com/historia/historia.htm>
- IG-EPN. (2015). *IGEPN*. Recuperado el 9 de Julio de 2016, de Antisana: <http://www.igepn.edu.ec/antisana>
- IGEPN. (17 de Abril de 2016). *IGEPN.edu*. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de Informe sísmico #13: <http://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos/sismicos-especiales/sism-e-2016/14680-informe-especial-n-13-2016/file>
- IGEPN, I. G. (2013). Las Potenciales Zonas de Inundaciones por Lahares en el volcán Cotopaxi. *IGPN*, 10-13.
- IGEPN, I. G. (2015). INFORME ESPECIAL VOLCÁN COTOPAXI N°4. En I. G. Nacional, *INFORME ESPECIAL VOLCÁN COTOPAXI N°4*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
- Ilaló, B. (2010). *Blogspot*. Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de Volcanes Inactivos: <http://volcanosec.blogspot.com/p/volcanes-inactivos.html>

- La Patria, P. d. (mayo de 10 de 2012). *La Patria*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de El sismo es una fractura de la corteza terrestre: <http://lapatriaenlinea.com/?nota=106549>
- Martínez, C. (2009). *Fallas tectónicas*. Recuperado el 3 de febrero de 2016, de Platea: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/GEO/tect/fallas/index.htm>
- Miliarium. (23 de Abril de 2016). *Miliarium*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Tipos Puentes: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>
- Ministerio de salud, A. (20 de Abril de 2016). *Conceptos básicos de la gestión de riesgos*. Recuperado el 20 de Abril de 2016, de Salud en emergencia de desastres: <http://www.msal.gob.ar/salud-y-desastres/index.php/informacion-para-comunicadores/conceptos-basicos-de-la-gestion-de-riesgos>
- Moreno, A. y. (1991). *Procesos Geológicos Internos*. Rueda.
- Mtc, P. (2014). *Manual de Carreteras*. Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de Hidrología, Hidráulica y Drenajes: https://www.academia.edu/18248134/Manual_de_Hidrologia_Hidraulica_y_Drenaje
- Muñoz, & Javeriana, P. U. (2012). *Ingeniería de Puentes* (Vol. II). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Muñoz, & Javeriana, P. U. (2012). *Ingeniería de Puentes* (Vol. II). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Natura, v. s. (2014). *Ecuanex.net*. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de Parque Pasochoa: http://www.ecuanex.net/ec/natura/biodiver/parque_pasochoa.htm
- Navarra, F. L. (2007). *Scrbd*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Tipos de Puentes: <https://es.scribd.com/doc/28820261/9/Tipos-de-puentes>
- NEC. (2015). *Habitat y vivienda*. Recuperado el 8 de Julio de 2016, de Diseño Sismo Resistente: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>
- Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling. (2013). LAS POTENCIALES ZONAS DE INUNDACIÓN POR LAHARES EN EL VOLCÁN COTOPAXI. *IG-EPN*, 12-13.
- Pasochoa. (2012). *Viajandox*. Recuperado el Mayo de 18 de 2016, de Pasochoa-Rumiñahui: <http://www.viajandox.com/pichincha/volcan-pasochoa-ruminahui.htm>

- Rica, R. S. (9 de Junio de 2016). *Universidad de Costa Rica*. Recuperado el 9 de Junio de 2016, de Sismología: <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php/faq/sismologia/325-cual-es-la-diferencia-entre-un-sismo-un-temblor-y-un-terremoto>
- Rodriguez, A. (2012). *Slideshare*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Puentes: <http://es.slideshare.net/valerianito/puentes-lrfd-ing-arturo-rodriguez>
- Rumiñahui. (2013). *Taga.mex*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de Cantón Rumiñahui: http://taga.mex.tl/730887_canton-ruminahui.html
- Salazar, D. (2008). *Percepción de amenazas y riesgos de la población del Valle de los Chillos (Ecuador) frente a una potencial erupción del volcán Cotopaxi*. Quito.
- SNGR, S. N. (2011). *Propuesta Metodológica Vulnerabilidad Volcánica*. Recuperado el 5 de Mayo de 2016, de Analisis de vulnerabilidad en funcion de amenazas a nivel nacional: <http://docplayer.es/14625458-Propuesta-metodologica-para-el-analisis-de-vulnerabilidades-en-funcion-de-amenazas-a-nivel-municipal.html>
- Sodi, & Wolf. (1877). Erupción del Volcán Cotopaxi. *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*.
- THALES. (23 de Abril de 2016). *Thales*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Clasificación Puentes: http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm#acueducto
- Torres C., E. (2013). *Diseño de puentes: interpretación del código AASHTO*. Cuenca, Ecuador: Ediciones Abya-Yala.
- Turismo, M. d. (2013). *Ministerio de Turismo*. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de El refugio de vida silvestre Pasochoa es un remanente de bosque andino cerca de Quito: <http://www.turismo.gob.ec/el-refugio-de-vida-silvestre-paschoa-es-un-remanente-de-bosque-andino-cerca-de-quito/>
- UNIVO.Edu. (2013). *Univo*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Generalidades Sobre Puentes: http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019116/019116_Cap2.pdf
- Valle, W. (2015). *Wikipedia*. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de Valle de los Chillos: https://es.wikipedia.org/wiki/Valle_de_Los_Chillos
- Volcanes, B. (2012). *Pachaturismo*. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de Volcán Ilaló: <http://pachaturismo-deportivo.blogspot.com/p/el-ilalo-es-un-volcan-inactivo-y.html>
- Vulcanismo. (2002). *Oni.Escuelas*. Recuperado el 18 de Enero de 2016, de Volcanes: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/santa_cruz/azul/geo/volcan.html

Wikicommons. (16 de mayo de 2016). De que depende la magnitud de un sismo. *EL COMERCIO*.

Yepes, H. A. (13 de Agosto de 2014). *IGEPN*. Obtenido de Sismos provenientes de la falla geológica de Quito: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/898-breve-reseña-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geológica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>